

ÉTUDE

SUR

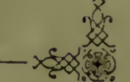
L'USURE ET LE RENOUVELLEMENT DES RAILS

PAR M. EUGÈNE FLACHAT

Extrait des Mémoires de la Société des Ingénieurs civils

PARIS
LIBRAIRIE SCIENTIFIQUE, INDUSTRIELLE ET AGRICOLE
EUGÈNE LACROIX, ÉDITEUR
LIBRAIRE DE LA SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS
QUAI MALAQUAIS, 15

1864

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER, et Cie, 30, rue Mazarine.

ÉTUDE

SUR

L'USURE ET LE RENOUVELLEMENT DES RAILS,

PAR M. **EUGÈNE FLACHAT**.

EXTRAIT des *Mémoires de la Société des Ingénieurs civils.*

---

§ I. — IMPORTANCE ET OPPORTUNITÉ DE LA QUESTION.

Rappelons, en reprenant cette étude, quelques chiffres qui démontrent l'importance et l'opportunité de la question d'usure des rails et du renouvellement des voies.

A la fin de 1862, les chemins exploités en France avaient une étendue de 11,078 kilomètres, savoir :

En double voie..	6,977,140m
En simple voie..	4,100,410
Pour avoir la longueur totale des voies principales, ajoutons..	6,977,140
Cela donne..	18,054,690

mètres courants de voie, non compris les voies de gares, garages et manœuvres.

L'âge moyen de service de ces 18,054 kilomètres de voie jusqu'à la fin de 1862 est, en ne partant que de l'année 1846, de six ans et trois mois. 5,700 kilomètres de voie simple, posés en 1851, ont plus de douze ans révolus.

En attribuant aux rails une durée moyenne de quinze ans, les 18,000 kilomètres ci-dessus devraient être renouvelés dans neuf ans.

Le coût du renouvellement pouvant varier entre 12,000 et 18,000 fr. par kilomètre, soit en moyenne 15,000 fr., la dépense totale faite ou à faire dans une période de quinze années, qui aura commencé en 1856, sera de 270 millions; c'est, en moyenne, 18 millions de francs par an. Mais avant cinq ou six ans, et en supposant que les parties du réseau concédé restant à terminer ne soient établies qu'à simple voie, le réseau de voie simple aura 25,000 kilomètres d'étendue. La dépense s'accroîtra donc en proportion, et, dans un certain nombre d'années, elle sera de 25 millions de francs par an.

Devant de tels chiffres, et aussi devant les conséquences du même genre que peut avoir sur la durée du matériel roulant une voie résistante et parfaitement établie, il est opportun de se livrer à une étude approfondie des faits qui amènent la destruction si rapide des rails. Il faut chercher un remède technique à cette destruction, car il y a en ceci à la fois une question d'art et un grave intérêt d'économie des transports.

Qu'on nous permette de reproduire ici un passage de notre première étude :

« La question de la détérioration de la voie et du renouvellement des rails, qui intéresse de plus en plus les capitaux engagés dans les chemins de fer, est l'objet de l'attention continue des ingénieurs. On s'en aperçoit au progrès très-marqué dans le choix des moyens par lesquels cette destruction incessante est combattue. La somme de notions, résultant de l'expérience personnelle que donne à l'ingénieur la spécialité de son service, dépasse de beaucoup tout ce qui se trouve à cet égard dans les livres et les mémoires, et rien n'est plus intéressant que de chercher à démêler le point vers lequel convergent ces esprits expérimentés pour fermer cette plaie toujours béante du renouvellement périodique de la voie, et pour lutter contre l'instabilité progressive résultant de la mobilité même des éléments qui la composent. Nul ne peut nier les soins apportés dans les écoulements d'eau, le choix du ballast, la forme et la dimension des traverses, la forme et l'attache des coussinets, la jonction des rails, etc. Il est également évident que la voie devient plus résistante, plus homogène, plus douce, qu'elle ménage mieux le matériel roulant et qu'elle-même dure plus longtemps ; mais il est également évident que *son travail* s'accroît dans d'énormes proportions. Cet accroissement de travail n'est pas particulier à la France : l'Allemagne nous avait précédés, elle nous a plus tard suivis dans la construction des locomotives de grande puissance; aujourd'hui l'Angleterre entre dans la même voie, et l'un de ses ingénieurs les plus distingués, directeur du matériel d'une grande ligne, arme de cylindres les tenders de ses fortes machines, pour profiter de toute l'adhérence du poids du moteur et de ses approvisionnements.

« D'un autre côté le nombre des trains rapides qui éprouvent si sérieusement la voie, tend à s'accroître avec le trafic; DE TELLE SORTE QU'ON APERÇOIT DISTINCTEMENT UNE AUGMENTATION DE FATIGUE POUR LA VOIE ET, AUSSI DISTINCTEMENT, SA FAIBLESSE RELATIVE.

« Bien des solutions surgiront avec le temps pour établir l'équilibre ; mais comme elles seront, sans aucun doute, aidées par un examen attentif des effets du contact des bandages avec les rails, nous avons d'abord appelé l'attention sur ce point. Il importe, en effet, autant à l'ingénieur du matériel de connaître le mode de détérioration de la voie, qu'à l'ingénieur de la voie de savoir comment les bandages s'altèrent et se détruisent. Le premier a un grand intérêt à l'extrême dureté des bandages ;

il cherche chaque jour à l'accroître : que fera le second pour donner à la voie des qualités correspondantes à celle des bandages?

« La question n'est assurément pas nouvelle, elle est depuis longtemps méditée, élaborée, mais peut-être isolément. Elle n'était pas posée. Il nous a semblé utile de faire ressortir plus apparemment le lien qui unit la voie au matériel, certain que les faits qui se rattachent à l'une et à l'autre seraient mieux appréciés par leur rapprochement que dans leur isolement.

« Nous avons dit, et nous tenons à répéter, que l'ensemble des renseignements que nous avons recueillis ne constitue réellement que l'ébauche du fait très-saillant de l'usure rapide des bandages correspondant à la lenteur de l'usure du rail; d'une marche plus égale dans la destruction du bandage et du rail, l'un par la déformation, l'autre par la disjonction et la chute par fragments. C'est là que le côté faible de la voie est apparent. Le remède est-il dans l'adoption d'un rail plus fort, mieux fabriqué, d'une forme présentant plus de table? C'est pour la solution de cette question que nous avons cherché à recueillir un ordre de faits enfouis dans la statistique. Ceux qui concernent le rapport entre le renouvellement des voies et l'importance du trafic ne nous ont encore permis que des appréciations très-vagues. Nous avons été plus heureux en ce qui concerne l'usure des bandages; néanmoins nous nous sommes trouvé en présence de certaines discordances dans les résultats qui nous étaient fournis, et nous avons dû chercher à les expliquer. »

§ II. — De l'usure réciproque des rails et des bandages des roues.

Les dernières études, dont nous avons présenté le résumé à la Société des ingénieurs civils, conduisaient à la démonstration que la destruction des rails n'est pas une conséquence immédiate de l'*usure* résultant du passage des roues, et que la perte moléculaire des bandages n'a pas son analogue dans les rails.

En cherchant la mesure de l'influence du contact des bandages avec les rails et de leur durée réciproque, nous avions introduit l'hypothèse d'une usure des rails proportionnelle au parcours des véhicules.

Cette hypothèse n'était admissible qu'en faisant intervenir la durée et l'étendue des points de contact réciproques entre le rail et le bandage; il fallait donc tenir compte du diamètre des roues et aussi, bien qu'à un moindre degré, de la différence de largeur des bandages et des rails. Ce point de vue, qui est à la fois une rectification de l'hypothèse produite et un acheminement à un résultat théorique plus précis de la comparaison entre l'usure du rail et celle du bandage, nous a valu les trois intéres-

santes communications qu'on va lire. La première nous a été adressée par M. M..... [1].

« Dans un parcours quelconque une roue ne touche qu'une fois chaque point du rail sur lequel elle roule, et pour un parcours d'une longueur l, chaque point de la circonférence d'une roue du diamètre d est touché par le rail un nombre de fois égal à $\frac{l}{3{,}14 \times d}$, de sorte que pour un parcours $t = 1{,}000$ mètres, il faudrait, pour que la roue et le rail fussent, point par point, dans les mêmes conditions d'usure, que le diamètre d de la roue fût de 320 mètres environ. La considération du diamètre de la roue est donc essentielle. Par exemple, pour un bandage de $1^{m},20$ de diamètre la circonférence d'un bandage doit s'user sur un parcours d'un kilomètre $\frac{1{,}000}{3{,}14 \times 1{,}20}$ ou 265 fois plus que le rail correspondant, en considérant le rail et le bandage, point par point, de leur entier développement. Si vous admettez que $1^{m},20$ soit le diamètre moyen des roues des trains d'Orléans, l'usure annuelle des bandages correspondant à un rail étant, d'après vous, de 48 millimètres pour un kilomètre de voie parcouru par 25 trains par jour, l'usure du rail correspondant sera de $\frac{48^{mm}}{265} = 0^{mm},181$, ce qui est un chiffre inférieur à la réalité, et cela doit être d'après le principe de la réciprocité, parce que l'usure sur le bandage affecte une largeur plus grande que l'usure sur le rail, ce dont il n'a pas été tenu compte.

« Voici, il me semble, comment le calcul doit être fait avec les données relatives à l'exploitation de 1862 du chemin de fer d'Orléans dont vous partez dans votre étude.

« Le train moyen du chemin de fer d'Orléans paraît avoir été composé, en 1862, de 80 roues, dont 68 roues de wagons, 6 roues de tender, 4 roues motrices, 2 roues porteuses de locomotives. Si on ne considère que l'usure des bandages en service, abstraction faite de la perte par tournage (évaluée à 1/4 de l'usure totale), les données du chemin de fer d'Orléans montrent que l'usure en marche pour un millimètre d'épaisseur correspond à des parcours en kilomètres, qui sont, à peu près, pour une roue de wagon de 8,000 kilomètres; pour une roue de tender, 6,560 kilomètres; pour une roue de locomotive, 3,600; et pour une roue porteuse, 4,000 kilomètres; ce qui donne pour la moyenne par roue du train, d'après la composition ci-dessus, 7,572 kilomètres. L'usure totale produite sur toutes les roues d'un train, par le parcours du train sur un kilomètre de longueur, sera donc, si on la rapporte à une seule roue, de $\frac{80}{7{,}572} = 0^{mm}\,010{,}565$.

1. Ingénieur des ponts et chaussées.

« Cette usure a lieu sur la circonférence de la roue, soit sur une longueur de $3{,}14 \times 1{,}20 = 3{,}768$ pour une roue de 1m,20 de diamètre. La même usure, répartie sur le développement de 2,000 mètres des deux rails, sera donc $\frac{0^{mm}010{,}565 \times 3^{m}768}{2{,}000} = 0^{mm}{,}000\,019{,}904$, et pour une circulation de 25 trains par jour, l'usure des rails sera, par an, de $0^{mm}000{,}019{,}904 \times 9{,}125 = 0^{mm}181{,}624$.

La seconde communication nous a été adressée par M. B... D...[1], dans les termes suivants :

« A défaut de données précises sur l'usure des rails, on peut arriver à l'estimer approximativement en cherchant la relation qui existe entre le parcours et l'usure des bandages d'une part, et le passage des trains d'autre part.

« En ne tenant pas compte de la différence qui existe dans la qualité du fer, ni de celle qui existe dans la manière dont l'usure se produit dans les deux cas, on peut admettre que l'action de chaque tour de roue sur un bandage correspond pour la voie au passage d'une roue sur un rail.

« Cela posé, il ne s'agit plus que de chercher le nombre de tours qui correspond à l'usure totale et à la mise au rebut d'un bandage, et par suite à une usure de 1 millimètre. Cela trouvé, on pourra admettre que pour user un rail de 1 millimètre, il faut qu'il y passe un nombre de roues égal au nombre de tours que fait un bandage pour la même usure; on en déduira le nombre de trains et le nombre d'années pour une usure de 1 millimètre et pour le remplacement du rail.

« Le parcours moyen d'un bandage de voiture ou de wagon est approximativement de 200,000 kilomètres, soit 200 millions de mètres.

« Le diamètre de roulement des roues de cette espèce est en général de plus de 1 mètre, ce qui correspond pour le développement de la circonférence à plus de 3 mètres. Par conséquent, le nombre total de tours que fait un bandage de wagon, depuis sa mise en service jusqu'à sa mise au rebut, est de 60 millions environ; l'usure correspondante étant de 30 millimètres environ, on voit qu'une usure de 1 millimètre correspond à 2 millions de tours de roues pour un rail.

« La composition moyenne d'un train pouvant être comptée de vingt véhicules, si l'on admet que la machine et le tender représentent cinq wagons parce qu'ils causent une plus grande fatigue, on verra que l'usure produite par un train sur les rails est équivalente au passage de 25 voitures ou wagons, ou de 50 roues sur chaque rail.

Par conséquent, le nombre de trains qui peuvent circuler, sur une voie, avant d'arriver à une usure de 1 millimètre sur les rails, est égal à $2{,}000{,}000 : 50 = 40{,}000$.

1. Membre de la Société des Ingénieurs civils.

Si la circulation des trains dans chaque sens est de 28 par jour, soit en nombre rond de 10,000 par an, la durée serait donc de quatre années pour un millimètre d'usure.

Les conditions dans lesquelles se trouvent les rails étant plus favorables que celles dans lesquelles se trouvent les bandages, il en résulte que la durée des rails doit être plus considérable que celle trouvée ci-dessus.

Enfin la troisième rectification nous est venue de M. H. M.[1], auquel nous avions communiqué les deux précédentes.

« J'ai étudié attentivement la lettre de M. M... et la note de M. B... D..., et je suis tout à fait de cet avis que la différence d'usure entre le bandage et le rail tient à ce que le bandage touche le rail beaucoup plus souvent que le rail n'est touché.

« La marche du calcul de M. M...... applique le parcours des trains à deux rails seulement, tandis qu'il devrait l'être aux quatre rails qui composent deux voies.

« Il est vrai que sur les nouveaux réseaux la voie unique domine; mais, d'un autre côté, la circulation y est très-faible, en sorte qu'en maintenant la division par 4, on reste dans la réalité.

« Je reproduis ci-dessous le calcul en prenant les données de votre étude, et le calcul suivant les indications de M. M.......

« Un bandage de $1^{m},20$ de diamètre moyen ou de $3^{m},768$ de circonférence s'usant de $1^{m}/_{m}$ par 7,572 kilomètres parcourus, il en résulte que cette usure par kilomètre de rail sera de $\frac{1^{m}/_{m} \times 3.768}{1000}$ et qu'elle sera de $\frac{3.768}{1000 \times 7.572} = 0^{m}/_{m}000.000.497$ par kilomètre parcouru.

« Pour un train de 80 roues, cette usure sera

$$\frac{80 \times 3.768}{7572 \times 1000} = 0^{m}/_{m}00003976,$$

et, comme elle doit être répartie sur les quatre rails qui composent les deux voies, l'usure, par kilomètre de rail, sera réduite à

$$\frac{80 \times 3.768}{7572 \times 1000 \times 4} = 0^{m}/_{m}00000994;$$

pour une circulation diurne de 25 trains, elle sera

$$25 \times 0^{m}/_{m}00000994 = 0^{m}/_{m}00024850;$$

et, pour une année, elle sera de $365 \times 0^{m}/_{m}0002485 = 0^{m}/_{m},0907025$; c'est la moitié du chiffre donné par M. M....; cela devait être.

« Cette faible usure du rail, que le calcul indique et qui est si loin de

1. Membre de la Société des Ingénieurs civils.

la réalité, puisqu'à ce compte les rails devraient durer plus de 50 années, s'explique d'abord par la qualité généralement inférieure des rails par rapport à celle des bandages, et ensuite par la part très-considérable que les roues accouplées des machines à marchandises surtout ont dans l'usure et la détérioration des rails.

« On peut en trouver la preuve dans ce fait des rails du chemin de Saint-Germain, qui ont duré 25 ans, parce qu'ils n'ont eu à supporter que des machines à roues indépendantes, tandis que sur les grandes lignes, une durée de 7 à 8 ans (en dehors des gares) est considérée aujourd'hui comme une moyenne.

« Une durée de 7 années, c'est bien peu ; mais elle indique très-clairement que les rails sont généralement de qualité trop médiocre pour résister au travail qu'ils ont à subir et pour la matière qu'on applique aux bandages; la preuve en est encore dans la nécessité où l'on s'est trouvé de faire l'essai de rails en acier fondu, dans les points très-fatigués, essais qui ont généralement réussi. D'un autre côté, il est incontestable que si la déformation du profil du bandage est une cause de détérioration pour le bandage, elle est aussi un motif de détérioration du rail.

« Les conséquences auxquelles on arrive par ce calcul montrent que la qualité des rails est insuffisante, leur mode de fabrication défectueux, et qu'il faut aviser à y remédier.

« Que, si l'on veut charger les machines plus qu'elles ne le sont aujourd'hui et faire porter aux essieux 14 ou 15 tonnes, il est indispensable d'avoir des rails d'un moment d'inertie plus élevé et d'une qualité supérieure, c'est-à-dire des rails plus hauts et fabriqués en acier fondu ou en très-bonne matière de fer. »

Les deux méthodes qui précèdent partent toutes deux d'un principe vrai. Elles arrivent cependant à un résultat complétement différent, puisque, d'après l'une, les rails seraient usés d'un millimètre au bout de quatre ans, tandis que, d'après l'autre, ce ne serait qu'après la dixième année de service, et cela sur un chemin parcouru chaque jour par 25 trains.

§ III. — INFLUENCE DE LA QUALITÉ ET DE LA RÉSISTANCE DES RAILS SUR LEUR DURÉE.

On ne peut se refuser à reconnaître combien il y a encore, dans ce qui précède, de bases hypothétiques qu'une observation patiente et des statistiques bien faites pourraient convertir en données certaines.

Il reste à préciser, en effet, pour les bandages, la réduction réelle d'épaisseur résultant de l'usure directe : l'influence de la qualité, du poids, et de la circulation sur cette réduction d'épaisseur; la forme réelle de la gorge produite par l'usure; enfin le changement de forme des

bandages résultant de l'écrasement. Sur tous ces faits, les données que nous avons rassemblées, quelque nombreuses qu'elles soient, n'aboutissent qu'à des termes trop distants pour constituer des moyennes sensiblement exactes.

Il en est de même pour les rails : le champ d'observation est plus vaste et plus varié, et il est difficile d'en énumérer tous les points. Mais la forme et la qualité des rails ; les conditions de la pose ; le poids et l'espèce des véhicules et des machines ; l'importance de la circulation ; le genre d'altération surtout, tels que les chutes par fragments et les changements de formes qui nécessitent le renouvellement, sont les éléments principaux sur lesquels nous appelons l'attention.

Toujours est-il bien matériellement établi, en fait, que l'usure directe produite par la rotation des bandages n'est pas la cause destructive qui amène le renouvellement des rails. Quelle que soit la dureté des rails, c'est leur malléabilité qui est en jeu. La preuve incontestable de leur écrasement est dans leur aplatissement rapide, et dans le creux qui se forme au contact du rail dans le coussinet.

Quant à la part à faire à la largeur comparative du bandage et du rail, loin d'en conclure une plus grande durée de l'un ou de l'autre, nous serions porté à émettre des doutes sur un effet contraire. L'altération du rail qui se montre par la chute des fragments a lieu aux deux bords du champignon ; mais elle est infiniment plus forte du côté extérieur qu'à l'intérieur ; la forme de ces fragments démontre que c'est la pression exercée par le bourrelet extérieur formé par le creusement ou le déplacement du fer du bandage qui les détache. Ceux de l'intérieur sont évidemment produits par la même cause, mais elle agit beaucoup moins souvent et avec moins d'intensité, le boudin du bandage étant un obstacle à son action.

La situation de la question est suffisamment indiquée par les trois notes qui précèdent et par les considérations dont nous les avons fait suivre sur le rapport à établir entre l'usure des bandages et celle des rails. Cette usure est négligeable pour les rails, même dans les parties de voie les plus fréquentées. Elle n'intervient pas sérieusement dans les causes qui amènent la destruction des rails et la nécessité de leur renouvellement.

Nous avions terminé, dans l'étude précédente, l'expression des opinions qui nous semblent le plus généralement arrêtées, par ces mots : « Des ingénieurs pensent que si le rail est de bonne qualité, il ne s'use pas ; d'autres considèrent l'usure directe de la table, l'usure sans déplacement de matière, comme très-faible : quelle qu'elle soit, toujours est-il que le rail est loin de s'abaisser par perte de matière autant que se creuse la table de roulement des bandages. »

S'il est donc une conséquence logique à tirer du fait que l'usure est à peu près insensible, c'est que le rail se détruit parce que sa matière manque d'homogénéité et de ténacité, parce que sa limite d'élasticité est

toujours dépassée par la pression qu'il subit, soit directement ou par écrasement, au point de contact avec une matière plus dure que lui, celle du bandage; parce que cette limite d'élasticité est également dépassée dans les changements de formes du rail qui résultent des flexions entre ses points d'appui sur le sol, et des mêmes flexions causées par la mobilité de ses points d'appui dans le ballast.

Le rail s'en va par fragments, il se détruit, en se déformant, au point qu'il ne peut être retourné aussi avantageusement qu'on le prévoyait, parce que le changement de figure de sa table, devenue point d'appui, ne lui permet plus d'épouser la forme du coussinet, ce qui diminue sa rigidité et sa résistance.

C'est pour cette cause que des ingénieurs préfèrent la nouvelle disposition du coussinet qui soutient le rail par le dessous du champignon supérieur. L'expérience n'a pas encore prononcé sur ce moyen qui semble enlever au rail une partie de la résistance qu'il puisait dans l'encastrement, mais qui assure l'avantage de le retourner sans nuire à la pose.

Le laminage à froid opéré par le roulement du bandage enlève au rail sa figure de fabrication; il en détache des parties et celles-ci ressemblent, quand elles se détachent, aux fibres d'un fer qui aurait été passé à la filière sans des recuits suffisants et qui se divisent.

Le dessoudage qui amène également la chute des fragments se propage avec une continuité qui démontre l'action des flexions, c'est-à-dire du passage de forces contraires de pression et de traction qui dépassent l'élasticité propre de la matière.

Tout cela démontre que le rail est trop faible à la fois par ses dimensions et par sa résistance propre comme matière.

Il n'est ni assez épais, ni assez haut puisqu'il plie au point de se dessouder.

Il n'est pas assez épais puisqu'il n'est pas d'aplomb dans les coussinets. Cet effet est très-apparent : quand une voie est neuve, il est facile de reconnaître que la surface de roulement est tantôt à droite, tantôt à gauche de l'axe du rail; rarement est-elle exactement sur celui-ci. La pose dépend d'ailleurs d'un tel ensemble de conditions qu'on s'explique parfaitement qu'il en soit ainsi; la pose du coussinet sur la traverse, et l'ajustement, plus ou moins exact, du rail dans le coussinet, sont autant de conditions de précision qui sont rarement réalisées à la fois.

Si la table du rail était plus large, son assiette sur le coussinet serait susceptible de plus d'exactitude; le rail serait moins exposé à la torsion.

Ainsi donc les conditions d'une bonne pose géométrique demandent aussi bien l'augmentation des dimensions des rails, que le poids des véhicules exige un accroissement de leur résistance.

Quant à la qualité de la matière, ceux qui connaissent la fabrication savent que les rails sont du mauvais fer. C'est du mauvais fer parce qu'il

est fabriqué en grande partie par les usines qui fournissent le fer le plus commun, et puis parce que le choix du minerai et le mode de fabrication dicté par l'économie que commande le prix de vente sont de nature à ne produire que des fers de basse qualité.

Il est des usines où l'on considère la présence d'un excès de silicium dans le fer des rails comme lui donnant de la résistance et de l'homogénéité.

Dans d'autres on ne purge, pour la fabrication des rails, ni la fonte ni le fer, du soufre ou du phosphore qu'ils contiennent, et la matière est à peine soudable.

Composé, aux deux tiers, de fer de première opération et d'un tiers de fer de seconde opération, le rail n'est ni homogène ni soudé, parce que la température soudante étant plus élevée pour l'un que pour l'autre fer, on s'arrête à la plus basse de peur des déchets.

Dans la consommation générale, on ne trouve en fer marchand, pour les plus bas usages, que du fer de première opération; celui qui, après le puddlage, a subi un réchauffage et une façon, soit au laminoir, soit au marteau.

L'idée tant préconisée par quelques personnes, de fabriquer les rails en fer de première opération seulement, sans changer notablement le travail, conduisait dans une direction toute contraire à celle qui tend à améliorer la qualité des rails.

Cette idée n'a de base que l'économie qui peut en résulter dans la fabrication; et l'économie, qui est assurément l'une des premières conditions à remplir, ne s'explique que par ce fait, qu'il suffit que les rails ne se brisent point pour que la sécurité ne soit pas compromise. Dans les marchés, la condition de sécurité et celle d'économie n'ont jamais été séparées; les cahiers des charges ont imposé aux fabricants des conditions plus sévères, une responsabiité plus longue et qui les intéresse à la durée des rails. Les rails ne sont nulle part cassants à froid. La sécurité n'est donc pas ici en question, c'est d'un autre ordre d'intérêts qu'il s'agit.

Il suffit d'observer la direction des procédés à l'aide desquels on élève la qualité du fer, pour reconnaître que, depuis l'origine de la fabrication des rails, rien n'a été fait, à l'exception de ce qui intéresse la sécurité, dans la voie d'une amélioration radicale de la fabrication. Il y a entre la qualité du fer marchand et celle des rails la même différence qu'autrefois. L'usage du marteau pilon a, dans plusieurs usines, donné au fer nº 1, et au paquet formant le rail avant le passage au laminoir, un peu plus de densité. A cela seul se borne le progrès; tandis que pour la fabrication des plaques de blindage, pour les arbres de machines, les pièces d'étrave et d'étambot des navires, la forgerie a fait les pas les plus rapides. On choisit, pour ces pièces, les minerais de la plus haute qualité; l'affinage est conduit avec un soin extrême; on choisit la houille la plus

pure pour toutes les opérations, et le travail mécanique est appliqué avec la plus grande énergie, soit par le marteau, soit par le laminoir. On obtient ainsi des fers qui reçoivent le choc du projectile et y résistent à une certaine distance, avec efficacité. Les uns sont ductiles et ne s'étoilent pas, tout en gardant l'empreinte du boulet qui s'est engagé dans leur épaisseur, et les autres exigent l'emploi de projectiles d'acier pour être perforés. Tel fer, tout en étant ductile et nerveux, est graphiteux, et n'est pas susceptible d'un beau poli : c'est le fer de ferraille (scrap iron); tel autre fer est compacte, grenu, brillant; il se polit comme l'acier, c'est du fer produit par d'excellent minerai et travaillé à d'énormes températures. Mais il y a une différence de prix considérable entre du fer de fabrication aussi courante que le rail et des fers de qualité supérieure.

La question que soulèvent à la fois l'énorme développement du trafic, l'élévation de la puissance des machines, l'importance que prennent dans les transports le double intérêt d'une grande vitesse pour les trains de voyageurs, et de la traction économique des matières minérales, cette question, disons-nous, est de savoir si, de même que la voie en rails de 30 kilog. n'a pas répondu aux conditions de l'exploitation et a dû être remplacée par la voie de 37 kilog., cette dernière répond aux prévisions de l'avenir.

A présent elle suffit. Dans les conditions actuelles de l'exploitation, elle offre toutes les garanties désirables de sécurité, de stabilité, d'économie d'entretien; mais il est facile de reconnaître l'importance de la question au point de vue des renouvellements qui commencent à devenir indispensables. Est-ce dans les conditions actuelles, est-ce dans celles d'une constitution plus solide, plus rigoureusement géométrique, qu'il faudra procéder à ces renouvellements?

Lorsque l'on parcourt de grandes distances dans les trains express, en France et à l'étranger, on reconnaît de suite qu'au delà de 65 à 70 kilomètres à l'heure, l'agitation des véhicules rend la vitesse insupportable. En Angleterre, il y a deux ou trois ans, un séjour de 10 heures dans un train express, marchant entre 50 et 70 kilomètres, était très-fatigant. Depuis l'usage des nouvelles voitures, qui se rapprochent de la construction française, la vitesse n'est supportable que lorsque les trains sont très-légers, et que les attelages sont serrés à fond, de telle sorte que les tampons restent en contact [1]. Mais, dans ce cas même, le roulement sur les voies non éclissées est excessivement incommode.

1. Cette condition du maintien au contact des tampons des véhicules, si essentielle à la douceur de la marche des trains express, est, dans l'état des attelages, fort difficile à obtenir. Quand la flexion des ressorts de traction dépasse le serrage des tampons de choc, ceux-ci cessent d'être en contact, et cet effet se produit, dans les voitures de tête des trains, soit à l'ascension des rampes, soit dans les périodes d'accélération. D'un autre côté si les tampons

On marche souvent à 70 et même à 75 kilomètres à l'heure, parce qu'il y a, dans la marche des trains express, des différences de vitesse considérables qui proviennent de la faiblesse des machines. Celles-ci ralentissent en montant les rampes; elles accélèrent en descendant les pentes. On reconnaît à l'agitation des voitures le moment où les relations qui, entre les véhicules et la voie, assurent la stabilité dans la vitesse, cessent d'exister. A ce point de vue, la grande puissance des machines est aussi désirable pour les trains express que pour les trains les plus lourds.

Nous croyons être dans le vrai en disant que la voie actuelle est en rapport avec des vitesses de 50 kilomètres quand les trains sont légers et que les attelages sont rigides. A cette condition, les voyages de jour et de nuit s'accomplissent avec un confort suffisant. La traction est sans aucun doute dispendieuse, parce que la vitesse éprouve les machines, les véhicules, la voie, et parce qu'elle apporte dans le régime général de l'exploitation, pour assurer la sécurité, un trouble sérieux en ce qui concerne la circulation des trains ordinaires de voyageurs et de marchandises. Cette dernière condition est, il est vrai, un mal nécessaire, tandis que les autres peuvent être améliorées par des perfectionnements dans la construction de la voie et des véhicules. Il est présumable que le progrès, sous ce dernier rapport, amènerait une réduction dans la dépense de la vitesse, dépense qui est, quant à présent, un obstacle matériel que l'art impose autant que l'économie légitime de l'exploitation.

Le renouvellement des rails, est-il dit dans le compte rendu des dépenses d'exploitation du réseau de l'État belge, est « toujours l'objet d'une attention très-sérieuse, parce qu'il contribue puissamment à assurer la sécurité de la circulation, et aussi la conservation du matériel roulant; » en fait, c'est plus que cela : Une voie très-résistante, très-régulièrement placée, c'est le chemin de fer continué vers sa véritable destination. La vitesse n'y soumettra plus le matériel aux agitations qui la rendent si fatigante pour le voyageur, si dispendieuse pour l'exploitation. Le nombre des trains du service des voyageurs, pour lequel il faudra recourir à l'accouplement des roues et à un excès de longueur des machines, sera moindre, parce que les roues motrices indépendantes pourront être plus chargées; les grandes lignes pourront profiter plus largement des grands rayons de leur tracé et des faibles inclinaisons de leur profil ; les trains seront moins encombrants parce que les véhicules pourront porter de plus lourdes charges; les dépenses d'entretien seront sérieusement diminuées.

de chocs étaient rapprochés de telle sorte que la flexion des ressorts de traction les laissât aussi tendus qu'ils le sont au repos, il en résulterait, dans les courbes, des résistances qui accroîtraient considérablement la résistance à la traction : la question des attelages n'est donc pas aussi simple ni aussi complétement résolue qu'elle le paraît.

Le côté économique de la question mérite donc un examen d'autant plus attentif que, sous le rapport technique, tout est à gagner dans l'amélioration de la voie.

Le fait qui accroît le plus l'importance de cette étude est que le renouvellement des rails de la forme ordinaire, dite double T, ne se borne nullement aux rails, mais entraîne la dépose entière de la voie et la repose d'une voie nouvelle. Les traverses, les coussinets, les chevilles, les éclisses subissent des altérations contemporaines de celle des rails, qui ne permettent plus le mélange des éléments anciens avec les éléments nouveaux qui entrent dans la composition de la voie.

La dépose et la repose de la voie augmentent donc le coût du renouvellement des rails, des frais de la main-d'œuvre qu'elles entraînent et des transports qui s'élèvent ainsi à 350 kilogrammes environ par mètre courant de simple voie [1].

Les rails sont en partie refaçonnés, en partie réemployés dans les garages, les travaux d'entreprise, etc., en partie revendus. Ils sont en général inventoriés à la moitié du prix des rails neufs.

§ IV. — FAITS RELATIFS AU RENOUVELLEMENT DES VOIES.

Nous exposerons d'abord les faits qui indiquent le mieux la manière dont la question du renouvellement des rails est engagée, et son importance.

Réseau belge (chemin de l'État).

Ce réseau a (1862) 748 kilomètres, composés :

En voies de circulation, de.	1458 kilom.
En voies de garage.	298 —
Longueur de voie simple.	1756 —

Soit 3,512,000 mètres courants de rails, répartis en 718 kilomètres de double voie et 22 kilomètres en simple voie. La voie ne doit plus être doublée que sur une longueur de 8k,5.

Depuis 27 ans, la longueur moyenne des voies principales étant de 840 kilomètres, il est entré dans la construction et le renouvellement, en mètres courants de rails. 5,930,197m

Il en a été retiré et refaçonné	2,387,988
Il en reste dans les voies	3,542,209

1. Traverse, 75 kil.; coussinets, éclisses, chevilles, 23 kil.; rails, 75 kil. = 173 kil. × 2 = 346 kil.

Ces 5,930,197 mètres de rails étaient entrés dans la construction et dans l'entretien de la voie, et en ont été retirés dans les proportions indiquées par les chiffres suivants :

FORME ET POIDS DES RAILS.	EMPLOYÉS DANS		RETIRÉS.	RESTANT en service.
	la construction.	l'entretien.		
	mètres.	mètres.	mètres.	mètres.
Rails ondulés du poids de 19 à 22 kilog., origine 1835 à 1843.	959.773	16.264	915.836	60.201 [1]
Rails parallèles du poids de 25 à 27 kil. Ces rails sont entrés dans la construction de la voie depuis 1838 jusqu'à 1858.	1.278.262	112.234	1.136.777	253.719 [2]
Rails double T du poids de 34 kil. Ces rails sont entrés dans la composition de la voie depuis 1846.	1.094.554	2.126.420	334.477	2.886.497 [3]
Rails Vignole du poids de 38 kil. Entrés dans les voies depuis 1860.	64 144	278.546	898	341.492 [4]

1. Dans les voies principales 9062 mètres.
2. Dans les voies principales 33,113 mètres.
3. Dans les voies principales 2,525.019 mètres.
4. Dans les voies principales 338,843 mètres.

La durée *moyenne* des rails ondulés aura été de 12 ans 2/3; celle des rails parallèles 13 ans; celle des rails à double T, 12 ans 1/3. Le service déjà fait par les rails restant dans les voies aura été, jusqu'à ce jour :

Rails ondulés, 17 ans 2/3; parallèles, 15 ans 1/4; rails double T, 7 ans; Vignole, 10 mois.

Des rails ondulés ont duré 24 ans; des rails parallèles (25 à 27 kil.) ont duré 22 ans.

Le poids des rails à refaçonner a été de. . . .	59,879,854 kil.
qui ont produit en rails refaçonnés.	40,490,443 —
Les déchets de refaçon ont été de.	19,389,411 —

Le produit a été de 67,5 p. 100, et le déchet de 32,5 p. 100. Le rendement est aujourd'hui de 789,28 kilog. de rails neufs pour 1000 kilog. de vieux rails. Le déchet est réduit à 21 p. 100.

En 18 ans, la valeur des produits en rails remaniés a été de 7,634,500 fr.; l'année 1862 entre dans ce chiffre pour 983,500 fr.

Depuis 1860, le nombre des rails double T, employés dans la construc-

tion et dans l'entretien diminue rapidement, tandis que celui des rails Vignole s'accroît dans une très-forte proportion.

Le poids des coussinets à refondre a été de.. . . . . 27,669,235 kil.
Celui des coussinets refaçonnés a été de. 17,854,443

« Les remplacements exécutés dans les conditions qui précèdent améliorent la voie. La valeur du chemin s'est donc accrue, par le poids ajouté aux rails, de 3,910,714 fr. (compte rendu de 1863). »

Quant aux traverses, les chiffres suivants donnent une idée suffisante de leur durée :

TRAVERSES.	TRAVERSES en chêne.	TRAVERSES autres essences.	TOTAL.
Employées depuis l'origine (27 ans) dans la construction............	1.066.494	720.607	1.787.101
— dans l'entretien...............	1.068.048	769.705	1.837.753
Ensemble...........	2.134.542	1.490.312	3.624.854
Il a été ôté des voies...............	1.081.465	768.316	1.849.781
Il reste dans les voies, 31 septem. 1861.	1.053.077	721.996	1.775.073

Durée moyenne des traverses mises hors de service : en chêne, 11 ans 1/2 ; autres essences, 7 ans 10 mois.

Ces chiffres expliquent comment les traverses anciennes ne peuvent rentrer dans la voie lors du renouvellement des rails

La somme consacrée dans le renouvellement des voies du chemin de fer de l'État varie chaque année, quant aux matériaux, entre 598,600 fr. et 1,161,000 fr.

La valeur de l'opération du refaçonnage s'élève, pour toute la période de 1845 à 1862, à 10,106,600 fr.

Aujourd'hui le poids des rails composant la voie est :

En rails ondulés de 19 à 22 kilog. le mètre. . . . 1,240 tonnes.
En rails parallèles de 25 à 27 kilog. le mètre. . . 6,585 —
En rails double T de 34 kilog. le mètre. . . . . . 97,700 —
En rails Vignole de 38 kilog. le mètre. . . . . . 13,700 —
Total. . . . . . 119,225 tonnes.

Les rails hors de service retirés des voies en 1861 et 1862 étaient en poids :

	1861		1862	
Rails ondulés.	155 tonnes.		135 tonnes.	
Rails parallèles	2,431	—	4,090	—
Rails double T	3,788	—	2,668	—
Vignole	—	—	34	—
Total. . . .	6,374 tonnes.		6,922 tonnes.	

C'est 5,42 p. 100; mais le rail double T, qui n'est entré dans la composition de la voie que de 1846 à 1858, qui n'avait par conséquent que 11 années de durée moyenne en 1861, entre pour une part déjà importante dans le renouvellement de la voie.

En 1861, le nombre des rails retirés des voies composait 106 kilomètres de voies; en 1862, 115 kilomètres. Ces nombres dépassaient du tiers la moyenne des années précédentes. Tout autorise à croire que la progression du renouvellement est ascendante.

Chemin de fer du Nord français.

La Compagnie a dépensé 12,479,988 fr. pour substituer à la voie en rails de 30 kilog. une voie composée de rails éclissés du poids de 37 kilog. C'est une dépense de 18,800 fr. par kilom. de simple voie; la longueur, ainsi renouvelée à partir de 1853, a été de 340 kilom.; elle datait de 1846. Plus de la moitié de la dépense, 6,432,788 fr., a été portée au compte de l'entretien; l'autre, étant considérée comme plus-value, a été portée au compte de capital. Depuis, la Compagnie a renouvelé la voie de la ligne de Boulogne à Amiens, qui avait également été posée en rails de 30 kilog.; elle avait 13 ans de service, et la perte de poids des rails a été de $1^{k},45$; la dépense entière de ce renouvellement a porté sur le compte d'entretien.

«Assurément nous aurions pu, dit le rapport qui explique la mesure prise par la Compagnie (1853), en restant dans les conditions prévues de nos transports, conserver longtemps sur notre ligne principale les rails de 30 kilogr., surtout depuis que, par l'addition de nouvelles traverses, nous avons augmenté d'un quart le nombre des points d'appui. Mais, en entrant dans le système des lourds convois pour le transport économique des marchandises, il nous fallait devancer l'époque où notre voie devait être mise en harmonie avec notre matériel, afin d'éviter une détérioration qui aurait pu être rapide, et qui, dans tous les cas, aurait entraîné des frais d'entretien annuels bien supérieurs à l'intérêt du capital nouveau, dont une reconstruction complète rendra l'emploi nécessaire. »

L'avenir était, on le voit, sainement apprécié. Le renouvellement a été terminé en 1860. La nouvelle voie du Nord a donc aujourd'hui un âge moyen de 6 ans et demi environ. Les trains express présentent sur cette ligne un confort suffisant aux vitesses réglementaires.

Chemin de fer de l'Est.

La ligne de Paris à Strasbourg date de 1849-50-51-52. Ce n'est qu'en 1860 que les premiers besoins du renouvellement de la voie se font sentir. « L'ancien réseau arrive, dit le rapport (1861), sur plusieurs points à sa période de réfection complète, et des sommes importantes devront être dépensées chaque année pour ce travail. Il est bien difficile de fixer une limite exacte entre le travail d'entretien et le travail de réfection. Nous imputons, quant à présent à l'entretien, toutes les dépenses journalières qu'exige la conservation de la voie et des bâtiments; et au compte de la réfection les grosses fournitures du matériel fixe.

L'année suivante (rapport de 1862), la Compagnie exprime l'opinion que la dépense de réfection des voies doit incomber entièrement au compte d'exploitation. « En effet, lorsque les voies d'un grand réseau sont arrivées à un certain degré d'usure (fatigue et altération), leur réfection totale ou partielle donne lieu à un travail incessant qui ne peut plus s'arrêter, et l'on est conduit ainsi à renouveler toutes les voies par un roulement continu et sans fin. Ces réfections successives et les perfectionnements qui en résultent ne sont que l'entretien d'un instrument qui doit toujours être maintenu en bon état, de manière à répondre aux besoins du service courant. Une dépense de cette nature ne peut être indéfiniment portée au compte capital. »

La dépense de réfection (fournitures du matériel fixe de la voie) avait été en 1860 de. . . . . 610,000 francs.
Elle s'est élevée en 1861 à. . . . . 4,941,315 »
et en 1862 à. . . . . 3,439,000 »

On peut se rendre approximativement compte de l'importance du renouvellement qu'expriment ces chiffres, en comparant le prix des matériaux neufs de la voie nouvelle avec celui de la voie ancienne.

Quantités et prix par mètre courant des matériaux entrant dans la voie actuelle et sortant de la voie ancienne.

DÉSIGNATIONS.	VOIE NOUVELLE. Matériaux neufs.	VOIE ANCIENNE. Vieilles matières.	
	fr. c.		
Rails à 200 fr. la tonne............	14.85	A 101f.60	7f .62
Coussinets à 155 fr. la tonne.......	3.10	75	1 .55
Chevillettes à 300 fr. la tonne......	0.50	60	.10
Coins à 90 fr. le mille.	0.18		»
Éclisses à 259 fr. la tonne..........	0.82	65	0 .21
Boulons d'éclisses à 460 fr. la tonne..	0.37	115 -	0 .12
1,10 traverses à 4 fr. 50 c. l'une....	4.95	1 40	1 .50
	24.77		11 .10
Dépose et pose d'un mètre. Sabotage et transports; surveillance........	5		
	29.77		
A déduire le produit...........	11.10		
Reste..............	18.67		

Ce chiffre est, sensiblement, celui qui a été dépensé par la Compagnie du chemin de fer du Nord; mais nous ignorons si les éléments qui le composent sont semblables.

En ne comptant que le prix des matériaux, la dépense de renouvellement d'un mètre courant de voie correspondrait à 24 fr.77 — 11 fr. 10 = 13 fr. 67, et les 8,990,315 fr. dépensés par la Compagnie de l'Est en 1860-61-62 auraient permis le renouvellement de 658 kilomètres de simple voie ou 329 kilomètres de double voie; l'ancien réseau ayant 974 kilom., le tiers environ aurait été renouvelé fin 1862.

Chemin de fer de Paris à Orléans.

Le rapport de 1853 s'exprime sur la nécessité du renouvellement de la voie dans les termes suivants : « Depuis longtemps nous avions entrepris de renforcer la voie en remplaçant successivement par des rails de 36 kilog. les anciens rails de 30 kilog., trop faibles aujourd'hui pour notre trafic. Nous profitons de l'ouverture des prolongements pour activer cette opération en employant comme voie de service ou de garage les rails que nous retirons des voies principales d'Orléans.

La voie de Juvisy à Orléans avait alors dix ans.

« L'année suivante 1854, le rapport dit : « Sur la section d'Orléans, qui est exploitée depuis onze ans, la voie est entrée dans la période des grands renouvellements. En 1853, 14 kilom. de voie simple ont été renouvelés en rails de 36 kilog.

« En 1854, il avait été renouvelé 35 kilom.; en 1855, 70 kilom. Mais le développement de la circulation, l'augmentation du poids du matériel ont rendu indispensable de placer 6 traverses, au lieu de 5, sous chaque rail, et de consolider les joints par des éclisses.

« Le renouvellement a été achevé en 1856 (rapport de 1857); il a coûté 2,970,726 fr,, déduction faite du produit des anciens matériaux. Cette dépense est imputée au budget de l'exploitation. »

Pour 242 kilomètres de simple voie, c'est 11,200 fr. par kilomètre. L'économie du travail tient ici au réemploi plus étendu des matériaux retirés de la voie. « 60 kilom. de voie simple sont renouvelés sur la ligne d'Orléans à Tours; cette voie avait onze ans de service; les matériaux retirés servent à l'entretien des voies du même modèle entre Orléans et Bordeaux. »

« Chaque exercice portera ainsi sa part de cette charge si importante du renouvellement des voies. »

(Rapport de 1858.) « Sur le Centre, ainsi qu'entre Orléans et Tours, le renouvellement des voies fait de nouveaux progrès. »

1859. « Entre Tours et Bordeaux, consolidation des rails par l'addition d'une traverse et la pose d'éclisses. »

1860. «Avant la fin de l'année, la transformation ou la consolidation des voies que l'expérience signalait comme trop faibles sera achevée sur l'ensemble du réseau, à 30 kilom. près. »

1861. « La voie entre Paris et Tours est transformée (après 15 ans de service). Ce travail de renouvellement, qui pèse tout entier sur le compte de l'exploitation, attire toute notre attention. Depuis 1852, la dépense s'en élève à 11,000,000 fr. »

1862. « L'année 1861 a pris, comme les précédentes, une large part dans la réfection de nos voies, 2,461,952 fr. »

1863. « Nous avons largement pourvu aux besoins du renouvellement des voies (2,400,000 fr.). »

Les dépenses de l'opération sont, en effet, exclusivement portées aux comptes annuels comme suit :

De 1852 à 1856	2,709,726 fr.
En 1857	1,065,775
1858	1,412,317
1859	2,276,531
1860	2,772,314
1861	2,461,952
1862	2,400,000
	15,098,615 fr.

Au coût de 22,400 fr. par kilom. renouvelé, cette dépense correspondrait à 674 kilom.; le réseau ancien, alors exploité, en avait 1615.

En 1856, 121 kilom. renouvelés avaient 13 ans; les 553 kilom. renou-

velés depuis 1856 datent en moyenne de 1848. La période de durée moyenne serait donc de 11 ans.

Mais ces chiffres n'ont rien d'absolu, parce que l'opération semble être ici un mélange de transformation et de réfection ou renouvellement dont les éléments ne peuvent pas être rapportés à une unité de longueur.

Néanmoins les chiffres produits par la Compagnie jettent une grande lumière sur la question.

Chemin de fer de Paris à Lyon et à la Méditerranée.

C'est dans le rapport de 1860 que se montrent les premières prévisions d'un renouvellement des voies. Il est question de créer un fonds de réserve pour cette éventualité. Cette année l'éclissage a été commencé.

1861. « Les dépenses de la voie présentent seules une augmentation qui s'explique par les réparations extraordinaires et des renouvellements. »

1862. « Sur plusieurs sections de notre réseau, et notamment sur celle de Marseille à Avignon (13 ans de service) et de Nîmes à Alais (ouverte en 1840), nous procédons à la réfection complète des voies; sur plusieurs autres nous effectuons des renouvellements partiels. Enfin nous poursuivons avec toute l'activité possible l'éclissage de la ligne principale et de ses embranchements les plus importants. Nous portons ces dépenses en totalité dans les frais d'entretien. Ces dépenses vont s'accroître pendant les deux années qui vont suivre. »

1863. « L'éclissage qui a été continué en 1862 n'est mis au compte de premier établissement que pour la fourniture des éclisses. Cette opération se combine avec le renouvellement complet de la voie; et toute la main-d'œuvre, ainsi que la fourniture des matériaux de la voie, restent à la charge de l'entretien. »

Conformément à ces dispositions, la Compagnie a ouvert à l'entretien et au renouvellement des voies deux comptes, l'un de main-d'œuvre, l'autre de matériaux. Ce dernier, qui présente le plus d'intérêt, comprend malheureusement des éléments qui lui ôtent une partie de sa signification quant au renouvellement des voies. En voici le relevé depuis 1853. Nous y avons ajouté la longueur du réseau exploité et la dépense, par kilomètre exploité, en matériaux et main-d'œuvre.

DÉSIGNATIONS.		MATÉRIAUX.	LONGUEUR du réseau exploité.	DÉPENSE par kilom. exploité. Matériaux.	DÉPENSE de main-d'œuvre par kilomètre exploité.
Dépense en ballast....... Matériaux de la voie, des gares ; terrassements et ouvrages d'art, éclissage de la voie...........	1853	363.300	383 k	948	1.010
	1854	372.665	435	855	1.182
	1855	729.683	539	1.351	1.130
	1856	1.130.666	610	1.850	1.265
	1857	2.741.441	1231	2.220	1.257
	1858	2.431.015	1304	1.860	1.270
	1859	2.959.632	1388	2.135	1.172
	1860	3.898.083	1410	2.755	1.298
	1861	5.276.469	1411	3.740	1.297
	1862	6.989.195	1655	4 225	1.350

La surveillance de la voie, les signaux et le service des ingénieurs et des bureaux de la voie sont en dehors de cette dépense. Ils ont coûté, en 1862, 1,317 fr. par kilomètre exploité, soit ensemble 6,892 fr. par kilomètre. On peut admettre que les dépenses propres de renouvellement entrent pour 3,000 à 3,500 fr. dans le chiffre qui précède. Cela suppose une grande activité imprimée à ce travail.

La ligne de Marseille à Avignon et celle de Nîmes à Alais avaient une durée moyenne de 13 ans. Lors du renouvellement des voies, des rails retirés, après 15 ans 1/2 de service, avaient perdu en poids 0^k,625 gr. par mètre.

Sur la section de Sens à Tonnerre, après 14 ans de service, perte 1^k,23 par mètre.

Sur la section :

De Dijon à Chalons,	après 14 ans de service,	perte par mètre. .	1,62
De Mâcon à Paris,	9 ans	—	1,76
De Tarascon à Nîmes,	23 ans	—	0,465
De Nîmes à Lunel,	18 ans	—	0,708
De Chalons à Mâcon,	9 ans	—	1,62

Nous le répétons, les causes qui exigent le renouvellement des voies ne sont par perceptibles par l'usure des rails, parce que celle-ci est à peine sensible, mais par leur déformation, par leur altération générale, par la dislocation des attaches des éléments entre eux. La perte de poids est un élément d'appréciation de la qualité des rails, et sous ce rapport les rails fabriqués dans les premières années l'emportent, en beaucoup de cas, sur ceux qui ont été fabriqués depuis 10 à 15 ans.

Chemin de fer de l'Ouest.

La Compagnie du chemin de fer de l'Ouest a accompli le renouvelle-

ment des voies de la ligne de Paris à Rouen, de Rouen au Havre et à Dieppe; celles de Paris à Versailles rive droite et rive gauche, à Saint-Germain, Argenteuil et Auteuil ont été également renouvelées. Nous avons indiqué, dans la première partie de cette étude, les intéressants résultats observés, lors du renouvellement, par M. Émile Clerc, ingénieur de la Compagnie.

Chemin de fer du Midi.

L'expérience qui a été faite sur cette ligne d'une voie exclusivement en fer a un grand intérêt. Les motifs qui militaient en faveur de ce système sont connus de tous les ingénieurs qui ont l'expérience des défauts de la voie ordinaire, mais les motifs qui en doivent faire repousser l'emploi, après cette grande expérience, sont moins connus et méritent de l'être. Le rail Barlow, pour la fabrication duquel les deux usines françaises qui l'avaient entrepris ont échoué, exige, à cause de sa forme, l'emploi d'un fer bien soudant et de très-bonne qualité. Aussi les rails fabriqués en Angleterre étaient-ils très-supérieurs, *comme matière*, aux rails ordinaires. Ils leur étaient cependant très-inférieurs *comme rails.*

La cause de cette infériorité a été longtemps inconnue : elle ne s'est révélée que par la nature des détériorations que les rails ont subies en service.

Ces détériorations accusaient, en effet, un grand défaut d'homogénéité. La matière semblait avoir subi dans le travail du laminage un désordre constant dans sa distribution. Celle qui devait former la table était dans les ailes et réciproquement. Les dessoudages étaient très-fréquents, l'écrasement de la table suivait vers les ailes des directions toujours semblables, c'est-à-dire affectant un même angle avec l'axe du rail. La désorganisation du rail prouvait que la matière ne s'était pas étirée sous le laminoir à une vitesse égale et qu'une partie s'était allongée beaucoup plus vite que l'autre. Cela s'explique : le rail Barlow est, dans le sens du laminage, double de hauteur du rail ordinaire. Celui-ci a 60 à 65 millimètres d'épaisseur maxima dans les cannelures du laminoir, tandis que le rail Barlow en a 130 à 135. De plus, le fer est distribué à peu près également dans la section du rail double T, tandis qu'il l'est très-inégalement dans la section du Barlow; les ailes, étant très-minces, se refroidissent plus vite que le corps. On sait que, pour que le fer sorte facilement des laminoirs, on donne à ceux-ci des diamètres différents. Celui du laminoir inférieur est plus faible que l'autre. Sa vitesse de rotation est donc moindre à la circonférence. La différence de diamètre et de vitesse de rotation est ainsi en raison de la hauteur même de la cannelure et de la pénétration de la saillie du cylindre mâle dans la cannelure du cylindre femelle. Il résultait de là une triple cause de désordre dans le laminage. Les ailes étaient étirées à une vitesse très-différente de la table et l'éti-

rage était inégalement réparti à chaque passage, à cause du refroidissement des ailes ; la pâte ainsi torturée perdait son homogénéité, et les ailes étaient en partie écrouies. Ces difficultés expliquent pourquoi, malgré une installation de laminoirs très-supérieure à ce qui se faisait en Angleterre, le fer fabriqué avec le minerai carbonaté des houillères de Decazeville n'a pu supporter le laminage en rails Barlow, tandis que, dans la forme double T, le laminage de ce même fer est facile et régulier.

Le rail Barlow était donc mauvais, et cela seul aurait amené sa rapide destruction. Mais le système d'une voie exclusivement en fer et noyée dans le ballast avait d'autres inconvénients qui durent faire renoncer même à l'idée de perfectionner les procédés de laminage : l'assemblage des rails entre eux avait lieu au moyen de selles en tôle rivées aux deux rails, et la rivure prenant constamment du jeu nécessitait un entretien très-dispendieux. Le remplacement d'un rail était une longue opération ; de plus, la forme même du rail tenait les eaux pluviales en permanence près des rails et à l'intérieur de la voie : celle-ci devenait alors mobile dans les temps humides; dans les temps secs, au contraire, le ballast répandu en poussière sur les ailes du rail se soulevait et causait un malaise que la chaleur aggravait. Ce que ces inconvénients ont eu d'imprévu suffirait à expliquer l'adoption première du système et qu'il ait été abandonné. C'était au moment où l'éclissage venait donner, à la voie ordinaire, tous les avantages des voies sur longrines avec ceux de l'emploi des traverses qui rendent l'assainissement très-facile.

Une autre circonstance a accéléré la destruction des rails Barlow et Brunel, c'est le service en simple voie. L'altération est beaucoup plus rapide dans ce cas. En voici un exemple entre plusieurs :

La garantie restait à régler pour 6,000 tonnes de rails ordinaires double T, après deux ans de service. Ces rails, fournis par le même fabricant, étaient exceptionnellement mauvais : les rebuts avaient été en moyenne de 53 p. 100, et, sur une petite partie posée en double voie, ils n'avaient été que de 20 p. 100.

La durée moyenne de la voie Barlow, en simple voie, a été de 6 ans et 7 mois, et celle de la voie Brunel de 7 ans et 1 mois.

La durée de la voie double, en rails Barlow, a été de 8 ans, et celle de la voie Brunel de 9 ans.

Dans le renouvellement, la voie Barlow a fourni 104 kilog. de fer par mètre courant, ce qui, au rendement de 80 p. 100, produit 1,06 mètre courant de voie ordinaire en rails de 37 kilogrammes.

Le rendement de 80 p. 100 que nous supposons ici, d'après le résultat récent des transformations en Belgique, peut être considéré comme faible, les rails Barlow étant généralement transformés, par les fabricants, en fer du commerce, tôle et échantillons exigeant de la qualité

§ V. — DES SYSTÈMES DE VOIE CONSIDÉRÉS AU POINT DE VUE DU RENOUVELLEMENT.

Deux formes de rails sont seules généralement employées : le rail double T et le rail Vignole. L'expérience n'a pas encore indiqué d'une manière précise la supériorité de l'un sur l'autre, et les ingénieurs sont encore partagés entre les deux systèmes de voie.

Diffèrent-ils par des conditions essentielles ou par des nuances seulement?

Comme forme de plus grande résistance, le rail Vignole ne le cède pas au rail double T quand sa hauteur est la même, en ce sens que sa base qui résiste à la traction a une section très-avantageuse; mais il n'est pas encastré comme l'est le rail double T, dans les coussinets, et, à égalité de distance des points d'appui, il serait plus faible; mais, en compensation, à égalité de dépense, ces points d'appui peuvent être plus rapprochés, les coussinets seuls coûtant plus de la moitié d'une traverse.

Dans la voie Vignole, la traverse est amenée, par le bourrage, exactement au contact du rail, dans toute sa largeur; c'est là une excellente condition de stabilité.

Le rail Vignole est plus mobile sur les traverses, mais il y repose sur de plus grandes surfaces. Il est donc moins susceptible de torsion sous le poids des machines, mais, par sa mobilité, il est plus sujet au serpentage.

Les traverses sont, dans la voie Vignole, plus à fleur de terre de 4 à 5 centimètres que dans la voie ordinaire, ce qui a une influence défavorable sur leur durée.

Le rail de la voie Vignole peut être renouvelé seul et abstraction faite des autres éléments constitutifs de la voie. Il n'en est pas de même du rail double T; son renouvellement emporte celui de tous les éléments de la voie. Le calcul suivant indique la conséquence économique qui en résulte :

Le renouvellement de la voie double T coûte, par kilomètre.			29,770f
Il reste en matières..........................			11,100
La dépense réelle est, par kilomètre, de			18,670
Le renouvellement de la voie Vignole coûte, rails...	14,850f	16,350	
Transports, dépose et repose..................	1,500		
Sur lesquels il rentre, en vieux rails.		7,420	
Reste en dépense.			8,930
Différence, par kilomètre, en faveur de la voie Vignole. . . .			9,740

Si la durée moyenne des voies est de quinze ans, la somme que représente le renouvellement serait de 1,240 fr. par kilomètre et par an dans le système en rails double T; et de 596 fr. dans le système en rails Vignole.

§ VI. — DURÉE MOYENNE DES VOIES. — RÉSUMÉ DE L'INFLUENCE DE LA QUALITÉ, DE LA FORME ET DU POIDS DES RAILS SUR CETTE DURÉE. — CONCLUSION.

Il résulte des faits que nous avons produits, qu'on peut attribuer une durée moyenne de douze années, aux voies actuelles, dans les parties où la recette kilométrique varie entre 50 et 60,000 fr.

La circulation des trains n'est pas la seule cause de destruction; l'influence atmosphérique en est une aussi; l'altération des traverses, qui en est la conséquence, éprouve sérieusement les rails; l'emploi de la voie unique accélère également la désorganisation de la voie.

Il semble convenable d'admettre une durée de quinze ans comme une moyenne attribuable à l'ensemble des réseaux.

Dans les différentes formes d'altération des rails, on reconnaît au dessoudage et à la chute des fragments leur défaut de malléabilité; à l'aplatissement de la table de roulement le défaut de ténacité; à l'écrasement et au déchirage du bord extérieur de la table l'influence de la saillie produite par la gorge creusée dans le bandage; on reconnaît au mattage des rails dans les coussinets la trop faible surface d'appui et la mobilité de l'assemblage. Ainsi, le fer des rails n'est pas assez malléable, assez tenace; la table de roulement n'est pas assez large. Le corps du rail n'est pas assez résistant; sa surface d'appui dans les coussinets n'est pas assez grande. Enfin, le renouvellement exige la refaçon complète des rails.

Si le rail était plus malléable, c'est-à-dire plus homogène, il pourrait recevoir à froid les pressions les plus énergiques sans se séparer en fragments. Ce résultat serait obtenu si l'emploi de certains minerais de très-basse qualité et celui des scories était interdit dans les hauts fourneaux produisant la fonte à rails, et si le rail était, comme le fer marchand, tout entier, *de seconde opération.*

Si la table de roulement des rails était assez large pour empêcher toute formation de la gorge qu'affectent les bandages après quelques milliers de kilomètres parcourus, on éviterait la plus forte cause d'altération des rails, celle qui amène la chute des fragments longitudinaux.

Si le rail était plus haut et plus épais, il serait beaucoup plus résistant; les traverses seraient moins mobiles, elles seraient mieux fixées dans le ballast; le bourrage serait bien plus facile et pourrait être moins fréquent.

Enfin, quand les rails altérés devraient être enlevés de la voie, il serait facile de les étirer simplement, à la température nécessaire pour le laminage; un rail de 6 mètres pourrait être ainsi amené à 8 ou 9 mètres de longueur, avec une section réduite et avec un simple déchet de 5 à 10 p. 0/0. Cela permettrait de faire entrer les rails anciens dans la construction des embranchements au poids et à la section du rail actuel. Un rail de 50 à

60 kilog. par mètre courant, en fer n° 2, remplirait les conditions ci-dessus.

Les progrès de la métallurgie ne permettent aucun doute sur la facilité de cette opération. La chauffe à blanc sur des longueurs de 6 mètres n'est plus une nouveauté.

En doublant, par l'accroissement des dimensions et la bonne qualité des rails, la résistance de la voie, en y ajoutant la force et la précision des assemblages, et un bourrage plus rigide, on réaliserait une double économie sur l'entretien et le renouvellement de la voie, sur l'entretien des bandages et sur la conservation du matériel, et on ajouterait à ces avantages une plus grande faculté de vitesse de circulation pour les trains rapides.

Dès aujourd'hui, il y a lieu de croire que les rails de 37 kilog. sont destinés à disparaître des sections de voie très-fréquentées, comme ont disparu ceux de 30 kilog. On commencera par en améliorer la qualité et on en viendra à accroître les dimensions, parce que la forme de l'usure des bandages en indique la nécessité et qu'une hauteur de 130 millimètres ne donne pas une résistance suffisante pour le poids des roues motrices des machines. 25 à 30 kilog. de fer ajoutés au poids des rails actuels n'accroîtront le coût primitif de la voie que dans une faible proportion, et, comme la nouvelle forme du rail en permettra la refaçon par le simple laminage avec un déchet de 10 p. 0/0 au plus, au lieu de 21 p. 0/0, il y a lieu d'espérer que, loin de charger l'exploitation, cette transformation diminuerait ultérieurement ses dépenses. Aujourd'hui toutes les Compagnies portent au compte d'exploitation le renouvellement des voies en rails plus pesants et éclissés, et en traverses plus longues; ce progrès s'étendrait évidemment, si on avait la certitude qu'en améliorant la qualité des rails et en augmentant leurs dimensions, on éloignerait les renouvellements, ou diminuerait la dépense d'entretien de la voie et du matériel, tout en réalisant de nouvelles économies sur le transport.

La faible durée de la voie actuelle dans les sections très-fréquentées est un indice qu'il ne faut pas négliger. Seul, il suffirait à démontrer l'importance de la question et l'opportunité de l'examiner. Cette première étude n'en est qu'une très-faible et trop rapide ébauche.

Paris. — P.-A. BOURDIER et Cie, rue Mazarine, 30,
Imprimeurs de la Société des Ingénieurs civils.

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS CIVILS.

EXTRAIT

DE LA SÉANCE DU 3 JUIN 1864.

Discussion sur l'usure et le renouvellement des rails.

Présidence de M. PETIET.

M. FLACHAT donne lecture de la lettre suivante qu'il a reçue d'un ingénieur de ses amis, relative à la question de l'usure et du renouvellement des rails; cette lettre lui paraît présenter, sur les moyens de remédier à la destruction des rails, une solution plus simple, plus immédiate et moins dispendieuse que celle qu'il avait proposée dans sa première étude sur cette question.

Elle a, en outre, le mérite d'indiquer une méthode rationnelle de calculer la limite de la somme à consacrer à l'amélioration des rails, sans excéder les dépenses actuelles de renouvellement.

Voici cette lettre :

« J'ai reçu et lu votre étude sur le renouvellement des rails. Il me semble que vous n'avez pas assez nettement conclu. Voici comment j'aurais posé la question :

Une voie Vignole coûte :

75 tonnes de rails à 200 fr.	15,000f
1t,66 chevillettes	500
3t,20 éclisses.	820
0t,80 boulons.	370
Frais de pose et de dépose.	5,000

« On peut admettre que les chevillettes, éclisses et boulons, dureront 20 ans.

« Je fais deux hypothèses : celle de rails ordinaires durant 10 ans; celle de rails d'une fabrication améliorée durant 20 ans.

Dans chaque hypothèse, il y aurait une petite différence sur la valeur des matériaux à recouvrer. Je supposerai cependant, pour plus de simplicité, que la ferraille enlevée

se vende au prix uniforme de 100 fr. la tonne; dans le renouvellement, au bout de dix ans, les chevillettes, éclisses et boulons, n'auront atteint que la moitié de leur moins-value.

« On aura ainsi :

	Frais de renouvellement.		au bout de 10 ans.	au bout de 20 ans.
Perte sur les matériaux.	Rails..........	$75^t,00$ à 100^f	$7,500^f$	7,500
	Chevillettes....	$1^t,66$ à 200	166	332
	Éclisses.......	$3^t,20$ à 159	254 40^c	508 80^c
	Boulons.......	$0^t,80$ à 360	144	288
	Pose et dépose..		5,000	5,000
			13,064 40	13,628 80

13,064 fr. 40 c. à dépenser dans dix années représentent à 5 p. 100 une annuité de.. 1,038
13,628 fr. 80 c. à dépenser dans vingt ans.............................. 412

La différence est de. 626

(J'ai laissé en dehors la question des traverses qui me paraissent constituer un objet complétement à part, et qui n'ont pas, nécessairement, la même durée que les rails).

« Si, par l'amélioration de la qualité des rails, on prolonge la durée de dix ans, on diminue les charges annuelles du renouvellement de 626 fr. Si, pour arriver à ce résultat, on doit augmenter le prix initial d'achat et que l'on veuille chercher de quel crédit on dispose pour cela, il faut supposer que la somme correspondante est amortie en vingt ans, en admettant d'ailleurs que le prix de la ferraille soit le même pour les deux sortes de rails, et que la valeur des fers en général n'éprouve pas de variation dans cette période.

« L'intérêt étant de 5 p. 100, il faut, pour amortir en vingt ans, une annuité de 8 p. 100. L'économie de 626 fr. correspond à une plus-value d'achat d'environ 7,800 fr.

« En dépensant pour un kilomètre de voie simple 7,800 fr. pour obtenir une durée de vingt ans au lieu de dix, on serait au pair : or 7,800 fr. pour 75 tonnes représentent 104 fr. par tonne. En d'autres termes, on pourrait payer les rails 300 fr. par tonne au lieu de 200, cours actuel supposé, si on avait la certitude d'une durée de vingt ans.

« Si l'on supposait un système de fabrication, ou une nature de métal, tels que les rails pussent avoir toute la durée d'une concession de 99 ans, on pourrait, en faisant un calcul semblable, l'annuité de renouvellement en dix ans étant de 13,000 fr. environ, se passer la satisfaction d'employer, en supplément de prix d'achat des rails, une somme de 25 à 26,000 fr., ou payer les rails 533 fr. la tonne.

« Si l'on veut améliorer la voie ordinaire en portant le poids des rails à 40 kil., sans rien changer aux accessoires, et en achetant la qualité nécessaire pour obtenir une durée de vingt ans par une augmentation de prix, on serait au pair en payant les rails 285 fr. la tonne.

« Il me paraît, en outre, que vous n'avez pas insisté suffisamment sur la différence radicale qu'il y a entre l'usure des bandages et celle des rails; les premiers s'usent; les derniers sont détruits par dessoudage, exfoliation, et autres conséquences du système actuel de fabrication, et bien avant d'être usés. Pour les bandages, il faut, dans les limites où le prix de l'unité de service n'est pas augmenté, accroître les conditions de durée des bandages par l'achat d'une matière plus résistante. C'est par des calculs analogues à ceux que j'ai faits pour les rails, qu'on doit chercher à se rendre compte de l'avantage de l'emploi des bandages en acier fondu.

« Mais, pour les rails, la marge est un peu trop étroite. Jusqu'à ce que la durée des rails en acier fondu sur les voies courantes ait été éprouvée, et jusqu'à ce que le prix en soit descendu au taux qu'offrait le bon fer à l'origine des chemins de fer, c'est-à-dire 350 à 400 fr. la tonne, je crois que la seule chose à faire est de lutter par tous les moyens contre la destruction par exfoliation et dessoudage même par une augmentation très-notable du prix d'achat.

« Il faut, en premier lieu, arriver à faire des rails en fer homogène pour qu'ils puissent se souder ; il faut que le soudage soit effectué avec tous les soins imaginables; il faut que les rails soient aussi durs que possible; la moins importante peut-être de toutes les conditions est la bonne qualité du fer, autant que, par bonne qualité du fer, on entend la résistance à la rupture. Sur une voie bien entretenue, avec un matériel dont les roues sont retournées en temps opportun, les rails ne cassent pas.

« Pour fixer ma pensée par des chiffres, j'organiserais une fabrication de rails homogènes en fer à grain, soudé le plus parfaitement possible, du poids de 40 kilog. en allouant à la fabrication actuelle une prime de 30 à 40 fr. par tonne, pour la perfectionner par l'emploi des minerais, du combustible, des appareils et des méthodes de travail les plus propres à obtenir le résultat voulu.

« Si la durée de vingt ans au lieu de dix ans était obtenue, les chemins de fer auraient encore réalisé une économie très-notable sur les frais de renouvellement, sans compter la plus-value de ferrailles de meilleure qualité.

« Je ne suis pas convaincu, comme vous, que l'élargissement de la table soit le moyen d'empêcher l'exfoliation des rails; je crois que si vous empêchez les bandages de se creuser en gorge, vous augmenterez l'instabilité des voitures, sans préserver les rails, bien au contraire.

« A mon sens, il y aurait peut-être plus d'intérêt à rétrécir la table pour faire en sorte que les bords résistent mieux au cisaillement, et cela sans changer le bombement actuel.

« Mais ce que je ferais surtout, ce serait d'établir une solidarité complète entre les services de la voie et du matériel ; de ne jamais laisser traiter une question de commande de machines ou de wagons sans la lier à celle de la conservation de la voie, et réciproquement.

« Je voudrais que les choses fussent constituées de telle sorte, que l'on ne cherchât pas seulement à obtenir le minimum de prix d'entretien des bandages, qu'on cherchât au contraire si, en augmentant cette dépense par des rafraîchissages beaucoup plus fréquents, on arriverait à trouver un très-sérieux avantage dans l'économie faite sur la destruction des rails. »

M. Flachat reconnaît sans peine le défaut de précision dans les conclusions de son étude sur l'usure des rails. Conclure dès à présent dans une question aussi ardue,

envisagée d'une manière si différente par les ingénieurs qui en font l'objet unique de leurs préoccupations, lui a paru bien difficile.

Il a indiqué l'accroissement des dimensions du rail comme une nécessité, parce que sa flexion entre les points d'appui est bien constatée, même sous les roues des voitures de voyageurs et des wagons de marchandises; aussi la destruction des voies est-elle beaucoup plus rapide qu'on ne l'avait supposé. La faiblesse du rail est encore affirmée par ce fait, que les vitesses qui dépassent 70 kilomètres sont inconfortables pour les voyageurs; on est très-mal aux vitesses extrêmes dans les voitures des trains express. Peut-être ce résultat est-il un peu dû à la légèreté du matériel, au faible écartement des essieux; mais, en améliorant le matériel, on le rendra plus lourd et la faiblesse relative de la voie sera encore plus grande.

M. Flachat a ensuite indiqué l'accroissement de largeur de la table de roulement comme un moyen d'empêcher le creusement des bandages.

Enfin, il a proposé l'emploi de rails en fer très-dur et très-résistant comme un moyen d'en empêcher la destruction par toute autre cause que l'usure simple résultant de l'écrasement de la matière au point de contact du bandage avec le rail.

M. Flachat reconnaît que, sur ce dernier point, il n'a pas été précis, en ce sens qu'il n'a pas indiqué le moyen d'obtenir un pareil rail.

Ce moyen, M. N.... le trouve dans une simple *amélioration* du rail actuel. La question est ainsi portée sur son véritable terrain. Est-ce par une simple *amélioration* du fer composant le rail actuel? est-ce par la *transformation* de ce fer qu'il faut procéder?

Les moyens d'amélioration du rail actuel sont de plusieurs natures. Il faudrait modifier la qualité de la fonte, ou son affinage, ou le traitement mécanique du fer. Examinons ces trois moyens, et pour ne pas perdre la voie de la discussion dans des généralités, parlons des qualités du minerai et des conditions de production de la fonte dans les usines qui fabriquent les rails, telles que les forges du Nord, de la Moselle, le Creusot, Ancy-le-Franc, Fourchambault, Terre-Noire, Bessège, Alais et Decazeville.

Ces usines produisent, avec un mélange des minerais qu'elles trouvent dans leur voisinage et des minerais qui leur sont apportés d'assez grandes distances, tous les fers de leur fabrication, depuis le meilleur qu'elles débitent en tôle, feuillards, ronds à la main et à guides, jusqu'au fer de la plus basse qualité, tels que fers à rails, à grille, etc.

L'amélioration du fer à rail consistera-t-elle à en produire la fonte avec le mélange de minerais qui sert à la production du meilleur fer? Non assurément; car cette fonte, qui sert à la fabrication de la tôle et des échantillons de haute qualité, produit un fer qui n'a pas les qualités qu'il faut au rail. Ce fer, qu'il soit nerveux ou à grain, n'a ni la densité, ni la texture, ni l'homogénéité qui est l'indice de la compacité et de la dureté de la matière. Ce n'est donc pas là la voie d'une *amélioration*.

Est-elle dans le soin donné à l'affinage dans le four à puddler? Le raisonnement qui vient de nous servir, quant à la qualité de la fonte, s'applique également à cette question. Le fer puddlé par la méthode ordinaire, n'est, comme qualité, que ce que la fonte est elle-même, quand l'opération de l'affinage est faite avec soin.

Enfin, l'amélioration du fer à rail sera-t-elle obtenue par un traitement mécanique énergique, celui, par exemple, auquel sont soumis la tôle, le feuillard, et les espèces de fer de première qualité? Mais, nous l'avons dit, il suffit d'examiner la texture de ces fers pour y reconnaître l'absence des qualités exigées pour les rails.

Le traitement mécanique, considéré isolément, réduit la résistance du fer en barre, laminé en feuilles de tôle, de 43 kil. à 38 kil. par millimètre de section.

Nous ne voulons pas conclure de ce qui précède que le fer des rails ne puisse être *absolument* amélioré dans les usines qui le fabriquent aujourd'hui, par les méthodes ordinaires; nous reconnaîtrons volontiers que, par l'emploi exclusif du fer n° 2, par un martelage énergique exécuté après l'affinage et renouvelé après le premier et le second réchauffage, enfin en réduisant le passage au laminoir à un très-petit nombre de cannelures, on peut améliorer le rail actuel. On gagnera ainsi quelques années de durée; le renouvellement donnera moins de déchet; mais peut-on attendre d'une telle amélioration une durée double de celle des rails actuels? Nous ne l'espérons pas.

Nous n'avons donc pas conclu dans ce sens; nous ne pouvons admettre davantage que la dureté et l'homogénéité du fer doive provenir de l'impureté même de la fonte, c'est-à-dire, d'un excès de silicium ou de phosphore, comme cela a été longtemps prétendu par des fabricants dont l'intérêt était d'employer, à la fabrication des rails, les minerais de basse qualité dont ils disposent dans leur voisinage, et qu'ils obtiennent à bas prix.

En face de l'impuissance de ces deux méthodes, nous avions à considérer celle dont les progrès deviennent de plus en plus manifestes : nous voulons parler de l'emploi d'un fer obtenu à l'aide de l'affinage de la fonte et de la fusion du fer à une température très-élevée, énergique pour l'épuration, et dont le résultat est la production de lingots dont la texture atteste à la fois un grain très-fin, régulier, et un haut degré d'homogénéité. L'expérience constate la dureté et la ténacité du fer ainsi obtenu.

Ce fer est produit, couramment, par le procédé Bessemer, et l'appareil servant à cette fabrication, fonctionne en ce moment dans la plupart des établissements métallurgiques importants. Il y sert, il est vrai, à la production d'un fer ayant des qualités aciéreuses; mais s'il ne réussit pas à faire, avec toutes les fontes, un métal susceptible de la trempe, il réussit toujours à faire, avec les minerais exempts de phosphore, une matière dont la dureté et la résistance à froid, la cohésion, l'homogénéité et l'élasticité conviennent éminemment à l'emploi en rails.

Or il n'y a aucune raison pour que la fabrication de ce fer fondu en lingots soit plus coûteuse que celle du fer puddlé. Chaque jour d'expérience approche de ce résultat. Dès aujourd'hui, des parties de rails en métal affiné par le procédé Bessemer, puis martelé et laminé, sont obtenues en Angleterre à 375 fr. la tonne, à l'usine.

Le nouveau procédé semble applicable aux fontes non phosphoreuses qui produisent aujourd'hui les rails; il est plus énergique que le puddlage au four ordinaire et à bras, à la fois comme température et comme agitation tendant à l'homogénéité du mélange; il compensera peut-être en déchet de métal ce qu'il économisera en combustible; le lingot obtenu exigera sans aucun doute des marteaux plus puissants, des laminoirs susceptibles d'étirer un fer beaucoup plus dur. Sous ce rapport, les installations actuelles devront être remplacées, et il faudra d'importantes commandes pour couvrir ces nouvelles dépenses; mais, ce résultat une fois obtenu, on n'aperçoit, ni dans les consommations de matières, ni dans le travail de fabrication, une cause d'augmentation de prix du rail actuel. Loin de là, le procédé semble devoir être plus simple et plus rapide.

Si donc ce n'est pas aujourd'hui qu'il faut s'attendre à voir le rail en fer Bessemer descendre au prix du rail ordinaire, on conviendra que nulle raison ne semble s'opposer à ce qu'il en soit ainsi dans un avenir prochain.

Ce qui hâte la marche du progrès, c'est de bien constater les pas qu'il a faits, afin de repartir, à nouveau, du but qu'il a atteint. Or, ce qui est constaté aujourd'hui, c'est que l'opération qui consiste à corroyer le fer, c'est-à-dire à le laminer par bandes plates, à le couper pour le mettre en paquets, à le marteler et le laminer de nouveau, puis à recommencer deux fois et trois fois la même opération, est un procédé qui peut servir à compléter l'épuration du métal, mais non lui donner la texture, l'homogénéité et le grain qui sont particuliers aux fers durs et tenaces. Le marteau produit cet effet, le laminoir jamais. Le laminage donne au fer une texture d'autant plus fibreuse, ou nerveuse, suivant la qualité première, qu'il est plus répété et fait à de plus basses températures. Son action rend le fer moins pesant, plus *creux*, moins résistant, c'est-à-dire plus coulant à la chaleur soudante. Le fer laminé s'est, pour ces motifs, introduit très-lentement dans l'emploi, par les forges à bras, dites maréchales.

Le pas que le procédé Bessemer a fait faire à la fabrication, à part l'expérience d'une méthode d'affinage nouvelle et plus efficace, c'est de montrer la supériorité de résistance du fer affiné *fondu* sur le fer affiné par le puddlage; c'est de montrer la valeur de l'action du marteau; de réduire l'utilité du laminoir à la simple mise dans la forme d'emploi; et de démontrer ainsi, non-seulement l'inutilité du corroyage, mais aussi l'inconvénient de soumettre le fer, à partir de sa fusion en lingots, à un travail à chaud exagéré. Il y a bien peu d'années encore, quand on voulait fabriquer un arbre en fer de 0,30 centimètres de diamètre, on mettait au four un paquet de petites bandes de fer laminé; il avait 1 mètre à $1^{m},20$ carré de section. Aujourd'hui, on met au four un lingot fondu de $0^{m.c.},50$, et on obtient un fer plus résistant du double. Cette différence capitale dans la fabrication du fer ne vient-elle pas de deux causes : la première de ce que, dans le travail actuel du fer, la haute température, celle de fusion du fer lui-même, n'intervient jamais, puisque le fer n'est jamais fondu; la seconde de ce qu'il est travaillé par un instrument dont le mode d'action participe bien plus de l'étirage que d'une pression normale.

Le procédé Bessemer a ouvert une voie nouvelle : il a produit, avec la même fonte, des fers plus homogènes que ne le faisait la méthode actuelle d'affinage, plus résistants aussi; des fers exclusivement à grain, c'est-à-dire plus rapprochés de la texture de cristallisation qui est dans la nature même du métal, et qui ne se perd, sous l'influence du laminoir, qu'aux dépens de certaines qualités. On entend les ingénieurs les plus expérimentés dans l'emploi du fer, exprimer l'opinion que le meilleur fer est celui qui, dans le traitement, a conservé sa texture *grenue*, tandis qu'autrefois c'était le fer rendu *nerveux* par le traitement qui avait la préférence; et comme le nerf se donne par des passages répétés au laminoir, par des façons énergiques à basse température, le fer était étiré mais non pas comprimé; il était préféré pour des emplois à froid, parce que les fibres superficielles en contact avec le laminoir acquéraient par une sorte d'écrouissage, la propriété du fil de fer.

Le fer puddlé ordinaire n° 1, destiné à produire par le corroyage, les fers de qualité, étant soumis à la traction, présente une résistance très-faible; 15 à 18 kilog. par millimètre de section : converti par un seul corroyage, c'est-à-dire par un faible traitement mécanique, en fer de gros échantillon, il ne résiste guère à un effort de traction de plus de 28 à 31 kilog.; corroyé deux fois et laminé en ronds à la main et à basse température, il résiste à 37 et 42 kilog.; enfin, réduit par une façon de plus, dans les laminoirs à guides, à un diamètre de 4 à 5 millimètres, il résiste à 40 ou 45 kilog.; puis, passé à froid à la filière, et converti en fil de fer de 1 millimètre, il

résiste à 80 kilog. par millimètre de section. Mais le fer aciéreux obtenu aujourd'hui, avec les mêmes fontes à fer, dans l'appareil Bessemer, par la fusion à haute température, coulé en lingots, après un affinage qui donne au produit des qualités de densité et d'homogénéité particulières, présente déjà, sans façons aucunes, une résistance égale à celle du fil de fer, et le marteau élève ensuite cette résistance de 25 pour 100; sa densité est celle de l'acier, et, dans tous les cas, très-supérieure à celle du meilleur fer.

Il est à remarquer qu'en général la résistance est en proportion de la densité dans la fonte, le fer et l'acier.

L'opinion qui est exprimée ici ne nous est pas exclusivement personnelle; elle est partagée par des ingénieurs et des fabricants; elle se justifie chaque jour par l'importance des commandes en rails fabriqués au moyen du procédé Bessemer, et elle explique aussi pourquoi nous n'avons pas conclu aussi nettement qu'on eût pu l'attendre de nos prémisses.

Nous n'entendons pas en effet qu'il y ait lieu de laisser de côté les méthodes actuelles de fabrication des rails, et d'y substituer d'une manière générale la fabrication par le procédé Bessemer ou un procédé fondé sur les mêmes principes. Ce serait, dans l'état peu avancé de l'expérience à cet égard, une grave imprudence. Nous nous bornons à indiquer cette tendance.

Jusqu'à ce que l'expérience s'accomplisse, ou jusqu'à ce qu'un procédé nouveau ait substitué le traitement par la fusion du fer à haute température au traitement par l'élaboration mécanique à basse température, on tentera de simples améliorations. Ce sera la fabrication du rail en fer n° 2 exclusivement, ou bien l'emploi de minerais d'une qualité supérieure, etc. Mais ce n'est pas là une conclusion à recommander d'une manière définitive. Il faut atteindre, en fin de compte, le but qu'indique la nécessité d'accroître la vitesse, en restant, comme première condition, dans la limite de la dépense actuelle, pour la marche des trains, l'entretien du matériel et celui de la voie.

M. le Président, relisant les conclusions de la première note présentée par M. Flachat, fait remarquer que ses conclusions sont différentes de celles qui viennent d'être développées.

M. Flachat dit qu'en effet les conclusions des deux notes ne sont pas les mêmes. Dans la première, M. Flachat n'a pas voulu sortir du domaine des faits acquis; il s'est donc borné à indiquer parmi les améliorations qu'il croit nécessaires, celles qu'on peut demander immédiatement à l'industrie. La première note présente en conséquence des conclusions pratiques. Dans la seconde, au contraire, M. Flachat indique ce que les tendances actuelles de l'industrie métallurgique lui paraissent devoir réaliser dans l'avenir. Ces deux points de départ si différents devaient naturellement conduire à des déductions différentes.

M. le Président, revenant alors aux conclusions de la première note, demande s'il est bien démontré que les rails, tels qu'ils sont admis aujourd'hui par la plupart des Compagnies, sont réellement insuffisants. Si cette première question était résolue négativement, il ne serait pas nécessaire d'en augmenter le poids, ainsi que le propose M. Flachat.

M. le Président donne la parole à M. Alquié pour indiquer l'opinion des ingénieurs du chemin du Nord sur la question posée.

M. Alquié dit qu'au chemin de fer du Nord la durée moyenne des rails paraît devoir être plus grande que l'indique M. Flachat.

On a déduit de nouvelles statistiques, faites avec soin, la probabilité d'une moyenne de 27 ans pour certains rails.

Ce chiffre est, du reste, fort difficile à établir. Il dépend d'abord de l'importance de la circulation; or, la circulation varie beaucoup, non-seulement par réseau et par ligne, mais même par fraction de ligne. Ainsi, sur le réseau du Nord, le nombre des trains, par vingt-quatre heures, était, en 1862, de 83 entre Paris et Saint-Denis; de 32 à 35 entre Saint-Denis et Creil; de 29 entre Pontoise et Paris; de 20 entre Creil et Amiens, pour se réduire successivement et ne plus être que de 7 et 9 entre Hazebrouk, Dunkerque et Calais.

L'absence de renseignements précis est encore une raison d'incertitude dans l'établissement de la moyenne.

Au Nord, on note avec soin les rails retirés des voies. M. Alquié a traduit en courbes les résultats des dix dernières années, en prenant pour abscisses les années, et pour ordonnées les quantités totales de rails retirés des voies depuis l'origine. Les courbes obtenues sont sensiblement paraboliques, et on en déduit une durée moyenne de vingt-un ans pour les rails à double champignon, et de vingt-sept ans pour les rails Vignole.

Le résultat est également influencé par la diversité des produits des différentes usines, et M. Alquié est d'avis que dans l'évaluation de la moyenne, on ne doit pas tenir compte des fournitures exceptionnellement mauvaises, parce qu'on devra pouvoir obliger les usines qui les ont produites à modifier leur fabrication et à reproduire les résultats obtenus dans les meilleures, ou tout au moins à s'en rapprocher.

Il n'est pas douteux, en effet, que la fabrication puisse être conduite dans tous les établissements, de manière à donner de meilleurs produits que la moyenne de ceux connus.

Ainsi, les rebuts dans les délais de garantie qui, à l'origine de l'application de cette clause dans les cahiers des charges, se sont élevés à 10 et 12 p. 100, n'ont pas atteint 0,6 p. 100 à l'usine de Wendel, et cependant la garantie est appliquée très-rigoureusement, puisqu'on compte les plus petites avaries sur des parties de ligne parcourues, en moyenne, par vingt trains par jour.

Les anciennes garanties, au contraire, étaient un peu illusoires en ce sens qu'on comptait les rails avariés de toute une fourniture répartie d'une façon quelconque sur le réseau, et posée, quelquefois en grande proportion, sur des parties de lignes neuves très-peu fréquentées, ou n'ayant souvent que quelques mois d'exploitation à l'expiration de la garantie.

La fabrication a donc une grande importance, et pour peu qu'on la suive avec soin, on obtient des produits tels que le poids de 37 kilog. est parfaitement suffisant, surtout avec la forme Vignole. Les rails à double champignon, du même poids, sont moins résistants à cause de la nécessité où l'on se trouve d'avoir deux surfaces de roulement en fer dur, mais cassant, tandis que le rail Vignole est constitué avec du fer à grain dans le champignon, et du fer à nerf dans le patin.

Ainsi, à poids égal, avec des sections dont les moments sont sensiblement égaux, et en employant les mêmes fers, la forme Vignole permet d'obtenir des rails plus résistants.

Les essais au mouton le prouvent de la manière la plus concluante.

Un rail Vignole placé sur deux appuis espacés de $1^m,10$, le patin en bas, peut

recevoir, sans se rompre, le choc d'un mouton de 300 kil. tombant sur son champignon, d'une hauteur de $2^m,25$ à $2^m,50$. Dans les mêmes conditions, le rail à double champignon casse aux environs de $1^m,25$, et le rail Vignole retourné le patin en haut, casse également à $1^m,25$.

Une condition essentielle à la durée des rails, c'est la bonne soudure des éléments dont se compose le paquet, principalement des éléments de la couverture, et de cette couverture au corps du rail. Il est, en effet, très-reconnu que les rails ne s'usent pas, dans le sens propre du mot, mais bien qu'ils se détériorent tous. Les flexions répétées auxquelles ils sont soumis séparent presque toujours les parties supérieures des champignons. Il faut donc combattre la dessoudure.

Le moyen le plus efficace pour atteindre le but nous a paru être le triage minutieux des fers puddlés, et ensuite le classement convenable des natures de fer dans le paquet.

La pratique du chemin de fer du Nord lui a démontré que le paquet doit être ainsi composé pour la confection d'un rail Vignole :

1° Une mise supérieure, en fer corroyé d'une seule pièce, destinée à former la surface de roulement, en fer à grain fin, représentant, en poids, le cinquième de la masse totale ;

2° Sous le corroyé, deux mises, au moins, en fer puddlé à grain fin, bien exactement de même nature que la mise supérieure;

3° Le tiers au plus de la partie inférieure en fer nerveux;

4° Le reste du paquet, autant que possible, à grain fin ; mais avec une tolérance de fer métis, c'est-à-dire présentant un mélange de grain et de nerf.

En n'ayant ainsi que des fers de même nature en contact, dans le champignon, on réunit les plus grandes chances de soudure.

Les usines qui ont adopté franchement cette méthode de classement, ont donné les meilleurs rails.

Ainsi, deux usines anglaises ont fourni des rails Vignole au Nord ; l'une a observé le cahier des charges à la lettre, l'autre n'a pas voulu changer sa fabrication habituelle, la première n'a pas eu 1 1/2 de rebut dans le délai de garantie, l'autre a eu 12 p. 100.

La méthode de classement adoptée avec empressement par l'usine belge de Thy-le-Château et par M. de Wendel, leur a permis de fournir d'excellents produits.

M. Alquié pense que la supériorité des rails de l'usine de Wendel n'est pas seulement due au bon classement des fers, mais qu'elle tient aussi au mode de fabrication du corroyé, aux fortes dimensions du paquet et du laminage en deux chaudes.

Dans presque toutes les usines, les paquets pour couvertes sont composés de mises horizontales; M. de Wendel les compose de mises verticales; il en met treize dans un paquet.

L'usine anglaise qui a fourni les meilleurs rails a fait de même. La bonne influence de ce mode de fabrication est facile à saisir. On conçoit, en effet, que, malgré le soin apporté au classement, le corroyé puisse contenir des mises mal disposées à se souder au reste du paquet; celles-là seules ne sont pas adhérentes si les mises sont verticales; si, au contraire, elles sont horizontales, on court la chance d'avoir justement au contact du corps du rail une de ces mises non soudantes, et par suite un défaut général d'adhérence entre la couverte et le corps du rail.

M. Alquié présente à la Société une section de rail attaquée à l'acide dans laquelle on constate seulement deux mises sur 13 non adhérentes; il y a, par conséquent,

dans ce rail, 11/13 du corroyé bien soudés. Si un de ces 2/13 s'était trouvé horizontalement à la partie inférieure du corroyé, la soudure eût été complétement mauvaise.

M. Alquié a cherché à vérifier le fait expérimentalement, et pour cela il a soumis aux coups répétés d'un martinet deux bouts de rails bien fabriqués provenant d'usines différentes. Dans l'un, le corroyé était composé de mises horizontales, il s'est détaché tout d'une pièce. Le corroyé de l'autre était à mises verticales, il a été impossible de le détacher, il s'est simplement criqué.

Le laminage tend à resserrer les mises du corroyé dans le premier cas, tandis qu'au contraire, avec les mises horizontales, il tend à les isoler.

Enfin, M. Alquié suppose que la composition chimique du fer a une grande influence sur la durée des rails, et les analyses qu'il a faites l'ont porté à penser que le phosphore pouvait, dans une certaine mesure, donner à la partie qui sert au roulement, les propriétés qu'on doit rechercher : facilité de travail à chaud, dureté à froid.

Ces analyses ont, en effet, démontré que les rails provenant des meilleures usines étaient ceux qui contenaient la plus grande quantité de phosphore. Toutefois, M. Alquié ne soumet ces résultats que sous réserves, les recherches dans ce sens n'ayant été ni assez multipliées ni peut-être assez précises.

M. le Président demande à M. Alquié s'il existe encore sur le réseau du Nord beaucoup de rails à double champignon de 37 kilog., et s'ils sont suffisamment résistants.

M. Alquié répond qu'il y a encore beaucoup de ces rails en service, qu'ils résistent bien, mais qu'ils ne valent pas le Vignole à cause du patin nerveux de ce dernier qui augmente beaucoup sa résistance. Le Vignole est d'ailleurs plus économique ; il doit donc être préféré à tous égards.

M. Flachat fait observer qu'il y a là une question de forme et non de qualité.

M. Alquié pense au contraire que ce n'est pas une simple question de forme, puisqu'il est impossible de faire, à poids égal et avec les mêmes qualités de fer, un rail à double champignon aussi résistant qu'un rail Vignole, parce qu'on est obligé, dans le premier, de constituer les deux champignons en fer à grain fin, et alors d'avoir un rail trop cassant, tandis qu'on met du fer nerveux dans le patin du rail Vignole, ce qui le rend plus résistant, ainsi que le démontrent les essais au mouton.

M. Flachat désirerait connaître l'opinion de M. Alquié sur les faits qu'il a cités dans sa note et dont il garantit l'exactitude. Ainsi, le chiffre de 12 ans pour la durée moyenne des rails est inscrit dans les rapports des conseils d'administration des Compagnies françaises et dans ceux de la Belgique. M. Flachat a la plus entière confiance dans les résultats indiqués par M. Alquié, mais ils sont spéciaux au Nord, et s'ils semblent meilleurs que la moyenne générale de ceux des autres Compagnies, cela tient sans doute à la persévérance avec laquelle ses ingénieurs ont lutté contre la routine des fabricants.

Toutefois, il ne faut pas perdre de vue que les rails du Nord sont bien nouveaux, et l'avenir seul pourra dire s'ils justifieront les espérances que leur manière d'être actuelle permet de concevoir.

Il ne serait pas étonnant, du reste, qu'ils conservassent une supériorité réelle; le Nord a fait son renouvellement à une époque où l'attention des ingénieurs était appelée sur les imperfections de la fabrication en général; il a pu, par conséquent, porter une attention spéciale sur ce point, et il a dû en recueillir les fruits.

M. Alquié, tout en admettant comme vraie la moyenne de 12 ans, dit qu'elle résulte certainement pour lui de l'emploi de rails de mauvaise qualité.

M. Flachat ne croit pas qu'on puisse faire de grands progrès avec les méthodes actuelles, et la plupart des usines françaises ne peuvent pas les changer. Toutes composent leurs paquets pour rails avec deux sortes de fer : fer n° 1 pour le corps du paquet, fer n° 2 pour les couvertes. Ces deux fers exigent pour se souder des températures différentes; alors il est à peu près impossible de ne pas brûler l'un d'eux si on veut amener l'autre à son point de soudure. C'est là une difficulté dont il paraît bien difficile de sortir.

M. Alquié dit que la classification répond à cela, et que si les fers en présence sont bien de même nature, ils se soudent très-bien. Il lui est arrivé souvent de voir de très-mauvaises soudures avec des couvertes minces qui pourtant se chauffent facilement, tandis qu'on obtient de très-bonnes soudures chez M. de Wendel avec des couvertes de 0,04 d'épaisseur.

M. Flachat dit que ce résultat a d'autant plus d'intérêt qu'il a été fourni aux chemins du Nord de l'Espagne des rails fabriqués avec des couvertes de 4 centimètres d'épaisseur; mais qu'elles n'étaient pas soudées.

M. Alquié répond qu'il ne considère pas l'épaisseur de 4 centimètres comme une cause de bonne soudure; il a dit au contraire que, malgré cette épaisseur, l'usine de Wendel était parvenue à bien souder parce que les fers étaient bien assortis dans le paquet.

M. le Président fait remarquer que les arguments fournis jusqu'à présent dans la discussion ne font pas disparaître l'observation de M. Flachat, que la durée moyenne des rails n'était guère que de 12 ans. Elle lui semble au contraire confirmée par le renouvellement des voies qui a eu lieu sur presque toutes les lignes françaises au bout d'une dizaine d'années.

M. Alquié ne conteste pas le fait du renouvellement; mais il dit qu'il a été en grande partie motivé par la faiblesse des premiers rails qui ne pesaient que 30 kil. Il ajoute que beaucoup de ces rails employés au Nord dans les voies de garage existent encore aujourd'hui et qu'ils s'y comportent très-bien.

Sur 40,000 tonnes de rails de 30 kil. retirés des voies du nord, la moitié était encore en bon état et un quart seulement était tout à fait hors de service.

Enfin, il pense que si d'autres compagnies, avec des rails d'un poids plus considérable, n'ont obtenu qu'une durée moyenne de 12 ans 1/2, cela tient, pour beaucoup, à ce que bon nombre des rails avaient été mal fabriqués.

M. Dallot, qui a étudié la fabrication des rails en Angleterre, a remarqué que les compagnies se sont vivement préoccupées de la question.

On ne trouve pas de voies Vignole sur les chemins anglais; le modèle généralement adopté est le type à double champignon.

M. Dallot cite particulièrement le Great-Northern, qui exige une garantie de six années ; elle est peut-être moins minutieuse qu'au Nord français; mais M. Dallot la considère comme très-sérieuse.

Au bout de six années, on passe une revue générale de la fourniture, on constate tous les rails qui doivent être mis hors de service et on en exige le remplacement.

On a attaché une telle importance à cette garantie qu'on a fait des sacrifices pour l'obtenir. Ainsi à une époque où les rails étaient moins chers qu'aujourd'hui, on a consenti à payer 8 livres la tonne dans les usines du centre du Yorkshire.

Les rails fournis par ces usines étaient en moyenne retournés au bout de huit ans et hors de service au bout de 10 à 12 ans.

En général, en Angleterre, sur la partie courante des lignes, la moyenne de durée est de 6 à 10 ans; mais aux abords des gares où la circulation est plus active et où se fait sentir l'action des freins, de même que sur les lignes de Londres au littoral de la Manche, la durée moyenne n'est guère que de 3 à 4 années.

M. Dallot ajoute qu'en Angleterre, on considère comme bons des rails qui durent en moyenne 10 à 12 ans : il est vrai qu'on surveille moins qu'en France la fabrication aux usines.

En résumé, les résultats anglais ne semblent pas justifier les espérances conçues au chemin de fer du Nord; d'où il résulterait qu'une fabrication très-soignée, accompagnée d'une surveillance minutieuse, peut diminuer dans une grande proportion la quantité des rebuts des premières années, mais exercer peut-être moins d'influence qu'on ne pense, quoiqu'elle doive incontestablement en exercer sur la durée totale des rails.

M. Alquié pense que l'élévation du prix n'est nullement une raison de bonne qualité. La Compagnie du Nord a traité à la même époque avec deux usines anglaises, avec le même cahier des charges et au même prix. Une des deux a eu environ 1 1/2 p. 100 de déchet, quand l'autre en a eu 12, parce que les procédés de fabrication n'avaient pas été les mêmes.

Selon M. Alquié, la seule manière de traiter consiste à bien définir ses conditions et à mettre en adjudication, laissant ainsi aux fabricants la fixation du prix. C'est en procédant ainsi que la Compagnie du Nord est arrivée à obtenir de très-bons rails, les meilleurs qu'elle ait jamais eus, à 180 fr. la tonne, moitié du prix qu'elle payait autrefois les mauvais. M. Alquié est d'ailleurs convaincu qu'en offrant une plus-value à un fournisseur, celui-ci s'engagera toujours à fournir meilleur; mais que lui-même, n'étant pas fixé sur les conditions de fabrication qui pourraient améliorer les produits, finira toujours par livrer ceux qui correspondent à sa fabrication courante.

M. le Président demande à M. Alquié si la durée des rails sur les sections voisines de Paris, ne permettrait pas de contrôler les durées moyennes qu'il espère pour l'ensemble du réseau.

M. Alquié répond que des statistiques sont tenues pour cela, mais depuis trop peu de temps pour qu'on puisse donner des chiffres. Néanmoins, il ne pense pas qu'une durée moyenne de 20 ans pour l'ensemble du réseau, corresponde à plus de 4 ou 5 ans pour les rails posés entre Paris et Saint-Denis.

M. Flachat demande à ramener la discussion sur les faits généraux.

A l'origine de l'établissement des chemins de fer, toutes les compagnies ont adopté des rails de 30 kil. suffisamment résistants pour les machines employées alors.

L'accroissement du trafic a forcé à augmenter successivement le poids des machines et il n'est douteux pour personne qu'aujourd'hui les rails de 30 kil. seraient tout à fait insuffisants. Mais est-on bien sûr que ceux de 37 kil. généralement adoptés maintenant ne deviendront pas trop faibles à leur tour; sont-ils même assez résistants aujourd'hui? M. Flachat ne le pense pas.

Il n'est pas, d'abord, aussi convaincu que M. Alquié, de l'excellence des qualités qu'on peut obtenir avec les méthodes actuellement en usage, et, sans méconnaître l'intérêt que présente l'essai fait au martinet dans le but de rechercher la qualité de la soudure dans le champignon, il croit que l'expérience eût été plus concluante si on l'avait faite dans des conditions plus en rapport avec la manière d'être du rail dans la

voie; en le soumettant par exemple à des flexions multipliées. Les rails résistent, en effet, dans l'usage, plutôt à la flexion qu'au choc.

M. Flachat croit que ce qui rendra surtout le poids de 37 kil. insuffisant, c'est l'augmentation du poids du matériel, augmentation nécessaire non-seulement pour traîner de plus lourdes charges, mais aussi pour avoir, aux grandes vitesses, la stabilité désirable. On est très-mal dans les voitures quand la vitesse dépasse 70 kilomètres; on est beaucoup moins secoué sur la machine.

Il est notoire que l'amélioration de stabilité des voitures et l'augmentation progressive de leur poids sont deux conditions solidaires, et que les accroissements de vitesse ne s'obtiendront qu'à l'aide de ces deux conditions.

Or, le poids de 37 kil. pour les rails ne paraît laisser, à M. Flachat, aucune marge pour l'augmentation de poids du matériel; il faudra donc, ou faire des rails plus lourds, ou les obtenir beaucoup plus résistants.

Les usines métallurgiques sortent de la fabrication ancienne; le procédé Bessemer se propage, et si, comme il y a lieu de le supposer, les prix subissent, dans un avenir prochain, un abaissement notable, comme la résistance du métal Bessemer est beaucoup plus grande que celle du fer ordinaire, il n'est pas douteux qu'on trouve bientôt avantage à demander à cette nouvelle fabrication les rails des voies principales.

M. Flachat trouve que le chemin de fer du Nord s'est engagé dans une bonne voie; qu'il obtient de l'ancienne fabrication tout ce qu'elle peut donner; mais qu'il ne se préoccupe pas assez de l'avenir du matériel, dont on ne peut pas beaucoup tarder à augmenter le poids.

M. le Président répond qu'ayant consulté son collègue de la voie, M. Couche lui aurait répondu que les rails actuels lui paraissaient laisser toute la marge nécessaire à l'augmentation de poids du matériel.

M. Alquié ajoute qu'en tous cas, il serait facile d'accroître notablement la résistance du rail avec un faible supplément de poids; qu'en ajoutant, par exemple, 3 kilogr. ou 1/10 du poids à la tige verticale, sans rien changer au patin et au champignon, qui lui paraissent suffisants, la résistance sera accrue d'un tiers, et la valeur seulement d'un dixième. Or le rapport de valeur entre les rails ordinaires et les rails Bessemer est encore de 200 à 600.

M. le Président demande à M. Guillaume ce qui se fait aux chemins de fer de l'Est.

M. Guillaume répond que le chemin de l'Est a adopté le rail Vignole de 35 kil. pour toutes les nouvelles lignes, par raison d'économie, mais que ces lignes sont trop peu fatiguées et surtout trop nouvelles pour qu'on puisse se faire une idée de la durée probable des rails.

Il confirme d'ailleurs tout ce qu'a dit M. Alquié au sujet de la supériorité de résistance au mouton du modèle Vignole sur le type à double champignon du même poids.

M. le Président demande si les rails de la ligne de Paris à Strasbourg, qu'il croit du modèle à double champignon, ont été reconnus insuffisants.

M. Guillaume répond que les rails sont en effet du modèle à double champignon, qu'ils sont suffisamment résistants, et qu'on ne casse pas de rails sur cette ligne.

M. Alquié fait observer que le rail peut être trop faible sans casser, car tout le monde est d'accord pour reconnaître qu'il est détruit par détérioration, et que cette

détérioration est due surtout aux flexions répétées auxquelles il est soumis. — Il faut donc que non-seulement il ne casse pas, mais encore qu'il ne fléchisse pas trop.

M. Mathieu, sur la demande de M. le Président, indique que sur le réseau du chemin de fer du Midi, le rail à double champignon a été préféré au rail Vignole, parce qu'on a craint qu'avec le rail Vignole les chevillettes ne tinssent pas dans les traverses en bois de pin, qui devaient être à peu près exclusivement employées sur tout le réseau. On a été très-satisfait de la voie à double champignon; les coussinets tiennent bien sur les traverses, et la voie est très-solide.

On a trouvé dans la Compagnie du Midi, comme dans les autres Compagnies, des différences énormes entre les qualités de rails fournis par les diverses usines, les déchets dans les délais de garantie ont varié de 1 à 50 pour 100.

M. le Président demande ensuite à M. Forquenot de donner quelques renseignements sur les rails du réseau d'Orléans.

M. Forquenot répond que la ligne de Paris à Orléans a été construite avec rails à double champignon de 30 kil., ainsi que celle de Paris à Corbeil. Toutes les autres lignes du réseau ont été munies de rails plus lourds; les sections du centre ont été construites avec rails de 34 kil.; les lignes de l'ancienne Compagnie de Bordeaux, avec des rails de 35 kil.; celles de Tours à Nantes, avec rails de 34 kil.; sur la ligne de Paris à Orléans, la plus fréquentée de toutes, le renouvellement a été fait il y a huit ans, en moyenne, avec un rail à double champignon de 36 kil., avec éclisse en porte-à-faux; cette voie, très-fréquentée, est encore en très-bon état et résiste parfaitement, grâce à la bonne qualité de son ballast et à un entretien très-soigné; sur les lignes du centre, certaines parties de voies ont seize ans d'existence; le renouvellement s'effectue à raison de 30 kil. environ par an, et il faudra encore plusieurs années avant qu'il soit complété.

Sur la ligne de Bordeaux, le renouvellement a été effectué, il y a deux ou trois ans, entre Orléans et Tours; les anciens rails servent encore entre Tours et Bordeaux à l'entretien des voies dont l'âge est environ de treize ans en moyenne et dont l'éclissage a été fait il y a cinq ans.

Sur la ligne de Tours à Nantes, la section de Tours à Angers a environ quinze ans d'existence, et l'on y commence un renouvellement partiel pour servir à l'entretien courant.

M. Forquenot ignore quel est le chiffre des rails mis hors de service; mais il est certain que les quantités varient beaucoup suivant les usines, et ce fait a été observé avec certitude sur des voies établies avec des rails de provenance différente.

Le rail Vignole a été adopté depuis quelques années seulement sur les lignes du réseau central et de la Bretagne; il se comporte très-bien; on a seulement remarqué une tendance au déversement dans les courbes de petit rayon de 250 à 300 mètres, l'élargissement qu'on avait donné dans ces courbes a dû être diminué, et la solidité de l'assise augmentée par la pose d'une double chevillette à l'intérieur.

M. le Président demande à M. Chaperon, ingénieur en chef des ponts et chaussées, invité à assister à la séance, si sur les lignes à fortes pentes il n'a pas observé une plus grande détérioration des rails dans le sens des pentes.

M. Chaperon répond que sur la ligne de Rhône et Loire, il y a des parties de voie en pente de 14 millimètres. Sur ces parties, la voie descendante a duré en moyenne six

ans. Il est vrai que les premiers rails n'étaient pas de très-bonne qualité; ils étaient d'ailleurs du modèle à deux champignons non symétriques, type que M. Chaperon considère comme le plus mauvais; enfin ils n'étaient pas éclissés. Il est probable qu'en éclissant et en surveillant la fabrication avec plus de soin, on obtiendra des résultats plus satisfaisants. Ce qui le prouve, c'est que sur un autre point de la même ligne où la pente atteint 26 millimètres, la voie du modèle à double champignon symétrique et éclissé se comporte mieux et paraît devoir durer beaucoup plus longtemps.

M. Chaperon estime, du reste, que, si le renouvellement devait avoir lieu périodiquement tous les 5 ou 6 ans, il y aurait avantage à employer des rails en acier Bessemer.

Il existe encore une pente de 20 millimètres sur la ligne à une seule voie de Dôle à Neuchâtel; mais la circulation y est peu active, et d'ailleurs la voie est trop nouvelle pour qu'on puisse déduire des résultats.

Sur les lignes en construction de la compagnie de Lyon, le modèle Vignole est aujourd'hui préféré au double champignon, par économie d'abord, et ensuite parce qu'il a une meilleure assiette sur la traverse, qu'il donne une voie plus douce et surtout plus facilement éclissable. Avec ce rail les éclisses simples donnent de très-bons résultats, tandis qu'avec le rail à double champignon, si on veut que le joint ne soit pas en porte-à-faux, il faut recourir au coussinet éclisse qui n'épouse jamais bien les formes du rail et donne généralement un éclissage médiocre.

M. Chaperon n'a remarqué dans la voie Vignole qu'un seul défaut, c'est une tendance au déversement ; ce qui amène le rapprochement ou l'écartement des champignons des rails et modifie d'une manière fâcheuse la largeur de la voie. Mais on peut y remédier en ajoutant des selles de joint, et au besoin une ou deux selles intermédiaires qui, en étendant latéralement les appuis des rails sur les traverses, augmentent le bras de levier de la résistance. On aurait pu craindre un certain ferraillement; mais l'expérience montre qu'il ne se produit pas d'une manière appréciable.

M. Chaperon, envisageant ensuite la question de qualité des rails, dit qu'il a remarqué dans leur production trois périodes bien distinctes. Dans la première, antérieure à la création des grandes lignes françaises, les rails étaient excellents; ainsi sur la ligne d'Avignon à Marseille les rails étaient faibles, ils ne pesaient que 30 kil., et on ne les a remplacés que tout récemment. La ligne de Strasbourg à Bâle a été posée en rails de 25 kilog. seulement, qui ont également fait un bon service.

Plus tard la fabrication s'est gâtée; ainsi sur la ligne de Paris à Tonnerre les rails du poids de 37 kil. 1/2 n'ont pas duré en moyenne plus de 12 ans. Sur la ligne de Châlons à Lyon, ouverte depuis 1854, les voies ont été éclissées sans qu'on remplaçât les rails, et on espère une durée plus grande que 12 ans. Cependant M. Chaperon n'ose pas se prononcer; car les dernières années sont fatales. Il arrive, en effet, un moment où presque tous les rails périssent à la fois; c'est ce moment qu'il faut tâcher de reculer le plus possible, et il pense que la fabrication actuelle, qu'il considère comme la troisième période, est suffisamment en progrès sur la deuxième pour que l'on puisse espérer une durée moyenne de plus de 12 années.

M. Forquenot ajoute quelques renseignements sur les voies en forte rampe, sur la rampe d'Étampes qui cependant n'a que 9 millimètres, la voie descendante est beaucoup plus rapidement détériorée que la voie montante à cause de l'action répétée des freins. — Sur les premières sections du réseau central mises en exploitation, la voie

est en rails à double champignon, il fallut, peu de temps après la mise en service, éclisser toutes les parties en rampes de 10 et 16 millimètres, les rails glissaient dans les coussinets, malgré les coins. Une partie en rampe de 16 millim., qui avait été posée avec le système Barberot a dû être aussi modifiée, le serrage des cales en bois n'était pas non plus assez énergique pour s'opposer au glissement des rails et au déplacement de la voie.

SÉANCE DU 17 JUIN 1864.

L'ordre du jour appelle la suite de la discussion sur la question de l'usure et du renouvellement des rails.

M. Alquié fait remarquer que le procès-verbal de la précédente séance (page 127, 6e alinéa) ne rend pas bien l'opinion exprimée par M. Couche à M. Petiet sur la suffisance de la voie du Nord. M. Couche pense qu'actuellement la voie du Nord est bien proportionnée aux conditions de travail qu'elle doit supporter, et qu'il n'y a pas lieu d'imposer une limite au poids du matériel. La voie trouve une garantie suffisante dans la condition à laquelle le matériel lui-même est soumis, de ne pas détruire ses bandages.

M. Sevène, *ingénieur en chef de la voie au chemin de fer d'Orléans,* invité à assister à la séance, confirme ce qui a été dit à la dernière séance au sujet d'une commande de rails en acier Bessemer pour remplacer les rails actuels sur la voie descendante de la rampe d'Étampes. Les rails ordinaires s'usent sur cette voie avec une rapidité extrême, par suite de l'action continuelle des freins; plus de la moitié des rails succombaient pendant le délai de garantie imposé aux usines.

M. Alquié comprend que dans des conditions spéciales telles que celles qu'on rencontre dans la rampe d'Étampes, il soit nécessaire d'avoir recours à des rails d'une fabrication spéciale, mais il maintient ce qu'il a dit précédemment, c'est-à-dire que, dans les conditions ordinaires, les rails actuels, avec une surveillance convenable de la fabrication, sont parfaitement suffisants.

Il fait remarquer d'ailleurs que, dans le cas particulier, il n'y a probablement pas ce qu'on peut appeler de l'usure proprement dite, il y a destruction du rail par dessoudure et exfoliation.

M. Vuigner dit que le fait signalé par M. Alquié s'est présenté sur les rampes de Commercy. L'action du frein produisait des dessoudures et des exfoliations telles, que chaque jour on ramassait sur la voie des copeaux de fer d'un poids relativement considérable.

M. Sevène fait observer que le fait qu'il a cité pour la rampe d'Étampes est spécial à cette rampe, qui se trouve dans des conditions tout à fait exceptionnelles par sa grande fréquentation et sa forte déclivité. Dans son opinion, le fer ordinaire suffit parfaitement pour les voies courantes, et l'emploi de l'acier sera limité, pour bien longtemps du moins, aux parties de voies placées dans des conditions d'usure excep-

tionnelles. Les fortes rampes, les abords des stations, les pièces de changements et de croisements, les voies diagonales, tel est le domaine à conquérir par l'acier fondu. On ne peut songer, quant à présent, à l'employer dans les voies ordinaires, même très-fréquentées.

M. Petiet fait observer que M. Flachat avait signalé la flexion des rails comme l'une des causes les plus certaines de leur détérioration; jusqu'à présent dans la discussion on n'a pas parlé de cette circonstance qui semble pourtant devoir être prise en considération.

M. Forquenot croit que la flexion peut contribuer à la dessoudure des rails de la rampe d'Étampes, car non-seulement cette rampe précède immédiatement une station à laquelle tous les trains s'arrêtent, mais encore les trains y arrivent complétement chargés, de telle sorte que, pour ne pas dépasser la station, il faut faire agir les freins à plusieurs reprises.

M. Flachat ne pense pas que les usines à fer consentent, toutes, au triage du fer n° 1 entrant dans les paquets destinés à la fabrication des rails; il ne voit donc là qu'un remède exceptionnel à l'insuffisance de résistance des rails. M. Alquié s'est adressé à celle de nos forges qui a le minerai le plus égal, qui, par suite, peut fabriquer le fer d'une qualité régulière, et qui a pu consentir à mettre de côté les fers qui n'étaient pas acceptés par les agents de la compagnie parce que cette condition ne lui était pas onéreuse, tandis qu'elle le serait pour la plupart des autres forges.

M. Flachat dit qu'il croit prématuré de substituer le rail en fer fondu au rail actuel qui, sur les neuf dixièmes des lignes où il est placé, suffit au service qui lui est imposé; mais que si, pour les parties de lignes très-fréquentées où le rail est détruit très-promptement, il n'existe pas de moyen d'en améliorer la fabrication sans sortir du procédé actuel, on est conduit, pour augmenter sa résistance, à en accroître le poids.

M. Ledru, *directeur des travaux au chemin de fer de l'Est,* croit que le mode de fabrication des rails indiqué par M. Alquié peut être admis par toutes les compagnies, et accepté par les usines. En faisant un cahier des charges sérieux et en tenant la main à son exécution, on atteindra toujours le résultat désiré.

M. Alquié fait remarquer que, d'après ce qu'a dit M. Flachat, il semblerait croire que les fers à grains, qui sont demandés par le chemin de fer du Nord pour les couvertures de ses rails, sont des fers supérieurs, tandis qu'au contraire ce fer n'est pas de première qualité dans le sens ordinaire. Ainsi, il croit que les minerais phosphoreux conviennent parfaitement pour la qualité spéciale aux surfaces de roulement des rails, ce minerai se trouve presque partout en quantité considérable et presque toujours à la surface du sol. Quant au mode de fabrication exigé par la Compagnie du Nord, il a été adopté par toutes les usines avec lesquelles on a traité. Une usine anglaise, celle de Dowlais seule, avait refusé d'exécuter le cahier des charges, et elle a fourni des rails en fer à nerf qui ont donné des résultats déplorables, puisque, pendant le délai de garantie, ils ont donné 12 p. 100 de rebut; de sorte qu'elle a eu à payer de fortes sommes à la Compagnie du Nord.

Mais, depuis, elle a reconnu que le mode de fabrication qui lui avait été prescrit était plus avantageux pour elle que ses anciens errements, et elle a déclaré qu'elle l'avait adopté, et à l'appui de ce qu'elle disait, elle montrait des échantillons que M. Alquié considère comme étant d'excellente qualité.

En somme, un choix bien fait des fers puddlés n'augmente pas sensiblement les frais de la fabrication.

M. Flachat admet que les usines exécutent fidèlement les cahiers des charges qu'on leur impose; mais il n'y a pas de Compagnie, sauf celle du Nord, qui se réserve de choisir elle-même les fers qui doivent entrer dans la composition des paquets. Il repousse également les fers phosphoreux et siliceux. Plus le fer est pur, plus il a de qualité. Le fer à grain est probablement mieux affiné que le fer fibreux; il résiste mieux à une haute température, et c'est probablement ce qui donne aux rails, dont parle M. Alquié, leur qualité.

Les diverses usines de France fabriquent le fer n° 1, à rails, avec des fontes obtenues au moyen d'un certain mélange de minerais. La condition imposée par la Compagnie du Nord pouvant avoir pour conséquence de changer, dans certaines de ces usines, la fabrication de la fonte, il est fort douteux qu'elle soit acceptée comme elle a pu l'être dans une usine qui produit la fonte avec une seule nature de minerai d'un très-bas prix.

M. Alquié fait remarquer qu'il ne veut pas dire que le fer qu'il a recherché pour constituer la table de roulement des rails est, d'une manière absolue, de mauvaise qualité, mais bien du fer d'une qualité spéciale à cet usage, et impropre à d'autres.

A la vérité, le fer phosphoreux qu'il croit devoir employer est cassant à froid, mais il soude bien, ce qui est une condition importante, puisque la plupart des rails périssent par défaut de soudure. On peut adopter un champignon cassant, à la condition de mettre un patin résistant, en fer nerveux.

M. Petiet demande si l'on a rebuté beaucoup de métal.

M. Alquié fait remarquer que les usines savent produire ce qu'elles veulent; les ouvriers peuvent se tromper en un seul moment, c'est à la fin du puddlage, qui doit être arrêté exactement au point convenable.

Or, la qualité de fer à grain nécessaire ne représentant pas plus du tiers du paquet, et cette qualité pouvant y être néanmoins employée dans la proportion des deux tiers, il en résulte une marge très-suffisante pour assurer l'emploi de tous les produits obtenus.

M. Forquenot demande que l'on s'entende sur ce qu'on appelle le bon et le mauvais fer. M. Flachat semble dire que le fer, pour être bon, doit être aussi pur que possible, tandis que M. Alquié appelle bon fer, dans le cas actuel, le fer qui selon lui donne les rails les mieux soudés et les plus résistants pour le service auquel ils sont soumis.

M. Flachat fait observer que la forge qui a fait la fourniture citée par M. Alquié n'emploie qu'une seule nature de minerai pour la production de la fonte, tandis que les autres forges emploient des fontes produites par un mélange de minerais, dont la valeur varie entre 6 francs et 20 francs le mètre cube; et si on demandait à ces dernières de permettre aux agents des Compagnies de choisir le fer, cela pourrait forcer de changer l'allure de la fabrication de la fonte dans les hauts fourneaux.

Il est à croire que bien peu de forges accepteraient une telle condition.

M. Flachat ne voit pas dans les procédés actuels de moyen bien précis d'améliorer la fabrication pour augmenter la durée des rails. Il faudra donc arriver, dans un avenir éloigné, peut-être, mais certain, à l'accroissement de la résistance, afin que le rail ne fléchisse pas; c'est la flexion qui est le plus grand inconvénient des rails actuels; c'est elle qui détruit les rails, et qui s'oppose à l'augmentation de la vitesse parce que cette vitesse ne peut être augmentée qu'autant que le poids du matériel roulant le sera également.

Il croit que, dans l'état actuel des voies et du matériel, il serait dangereux de céder

aux exigences de vitesse, dont le besoin est d'ailleurs exceptionnel, tandis qu'on le représente comme très-général. Mais ce besoin existe cependant, et c'est pour la partie des lignes où il existe, et où existe en même temps un mouvement considérable, là, en un mot, où les rails actuels sont promptement détruits, qu'il y a lieu de tourner ses vues vers l'emploi d'un fer plus résistant.

Or, depuis dix ans, un procédé simple, d'une réussite régulière, qui semble être l'avenir du fer, a été pratiqué; il faut s'attacher à le développer et à le répandre.

M. Alquié fait observer que les rails en métal Bessemer sont vendus aujourd'hui un prix qui est trois fois celui des rails ordinaires, et dans ces conditions on ne peut songer à les appliquer d'une manière générale, mais si la plus-value était seulement de 25 p. 100 de la valeur actuelle des rails, M. Alquié serait disposé à les accepter. Déjà même, malgré leur prix élevé, il les emploie à peu près exclusivement pour les changements et croisements de voie.

M. Morandière, *ingénieur en chef des ponts et chaussées, chargé de la direction des travaux au chemin de fer d'Orléans,* ne partage pas l'avis de M. Flachat, qui considère l'usine de M. de Wendel comme possédant un minerai exceptionnel. Toutes les usines peuvent fournir de bons rails si on exige qu'elles remplissent exactement les conditions imposées par les cahiers des charges. Au reste, M. Sevène a bien voulu recueillir des chiffres qui confirment ce fait, et qu'il communiquera à l'assemblée si elle le désire.

M. Sevène indique que la voie primitive de Paris à Orléans, formée de rails de 30 kil., a été renouvelée au bout de 13 ans, et remplacée par une voie du nouveau modèle, c'est-à-dire en rails de 36 kil. éclissés. Cette dernière voie est encore en usage; elle date moyennement de huit ans, et un cinquième des rails, seulement, a été remplacé.

Sur les prolongements, les voies primitives subsistent encore, et leur situation se résume ainsi qu'il suit :

La voie du centre (Orléans, Bourges), en rails de 36 kil. non éclissés, a dix-sept ans de service. La proportion des rails remplacés est de 35 p. 100, il y a lieu de remarquer que, sur cette voie, le remplacement représente plus que l'usure, parce que les renouvellements effectués n'ont pas servi seuls à l'entretien de la section dont il s'agit. Ils ont alimenté en outre la section voisine;

La voie d'Orléans à Bordeaux, en rails de 33 kil. éclissés après coup, date de quatorze ans et demi en moyenne, et les rails remplacés représentent 34 p. 100 de la longueur totale;

La voie de Tours à Nantes, en rails de 34 kil. non-éclissés, remonte à quatorze ans, et la proportion des renouvellements est de 31 p. 100.

En rapprochant ces divers résultats, et en les ramenant pour ainsi dire à une unité commune, eu égard aux trafics respectifs des lignes concédées, on est conduit à cette conclusion que pour un trafic modéré, tel que le trafic moyen de l'ancien réseau d'Orléans, qui est d'environ 45,000 fr. par kilomètre, la durée des rails, en double voie, doit dépasser vingt années.

On ne se trouve donc pas dans l'alternative que M. Flachat posait comme obligatoire, ou d'une augmentation du poids des rails ou de l'emploi d'un métal supérieur.

L'amélioration de la qualité du fer à rails n'en est pas moins un objet de la plus grande importance. Toutes les Compagnies font leurs efforts pour l'obtenir. La Compagnie d'Orléans a augmenté, dans ce but, les garanties imposées par les cahiers des charges; elle en exige l'application rigoureuse. Mais, au point de vue métallurgique, elle laisse une grande liberté aux usines dans leurs procédés de fabrication.

M. Tresca fait observer que M. Flachat attribue la mauvaise qualité de la voie à la flexion des rails et que c'est certainement là une des causes de destruction. Pour éviter cet inconvénient, M. Flachat propose l'emploi du fer ou métal Bessemer; mais est-il certain que les rails fabriqués avec cette matière fléchiront moins et que, par suite, il sera possible d'augmenter les vitesses?

Il résulte d'expériences faites qu'au contraire la flexibilité, l'élasticité du métal Bessemer est plus grande que celle du fer ordinaire, de sorte que si, par suite de son homogénéité, ce métal résiste mieux à la détérioration provenant des défauts de soudage, il est moins démontré qu'il fera nécessairement un meilleur usage que les ralis fabriqués d'après la méthode très-intéressante indiquée par M. Alquié.

M. Flachat, répondant aux deux précédentes opinions, dit que si les rails doivent durer 30 ans, ou même 20 ans, comme on vient de le dire, la question du renouvellement n'a pas d'importance, et il se félicite que l'espèce d'enquête qui se produit ait amené l'expression de cette opinion de la part des ingénieurs à même de se prononcer, à cet égard, avec le plus de compétence.

Cependant l'expérience a démontré qu'en Belgique et en France, la durée moyenne avait été de 12 ans. De plus, il faut considérer tous les éléments de la voie; les traverses doivent être renouvelées en 14 ou 18 ans; en 4 ou 5 ans, les coussinets sont entamés; en 2 ou 3 ans, les trous des boulons d'éclisses sont agrandis; la voie se relâche et l'axe de roulement se déplace de 15 à 20 millimètres sur des longueurs qui ne dépassent pas 50 mètres; la voie prend ainsi en quelques années une grande mobilité; c'est là une cause d'altération qui agit d'autant plus rapidement que la mobilité est plus grande; et, bien que, sur la ligne d'Orléans, il n'y ait eu que 1/5 de rebut en huit ans, d'où on déduit une durée de 20 à 30 ans, il est à craindre que dans quelques années, la destruction marche beaucoup plus rapidement et que la durée ne soit pas de 20 ans comme il serait à désirer qu'elle fût. On ne peut pas compter d'ailleurs sur le retournement des rails qui est rendu difficile, tant par la déformation qui empêche le rail de se bien loger dans le coussinet, que par l'altération qui se produit au contact du coussinet.

Il est donc impossible de conclure pour l'avenir d'après le passé. Au reste, M. Flachat pense que l'intérêt immédiat de la question est l'amélioration du rail.

Répondant à l'observation de M. Tresca, M. Flachat fait observer qu'il résulte des expériences citées par M. Kirkaldy, que le fer obtenu par le procédé Bessemer est aciéreux et plus résistant que le fer, ordinaire. Or, l'acier plie plus que le fer. Mais à dimensions égales et sous un poids égal, loin de plier plus, il plie moins. L'acier résiste, à la flexion, au delà du fer en proportion de sa supériorité comme résistance à la traction. De plus, il peut plier davantage sans que sa flexion soit permanente.

Ainsi, un rail en acier, ayant la dimension du rail actuel, pliera moins que celui en fer sous le même poids.

M. Ledru, en ce qui concerne la durée future des rails, partage l'avis de M. Flachat, il ne faut pas se faire d'illusion sur cette durée. Si pendant quelque temps, le remplacement est faible, il arrive un moment où la destruction se produit rapidement et simultanément. M. Ledru ne peut citer de chiffres à l'appui de cette assertion, mais c'est un fait qu'il a constamment remarqué.

La rapidité de l'usure varie avec la nature du ballast, les plus mauvais ballasts sont les ballasts argileux et ensuite les ballasts contenant du sable fin.

M. Alquié fait observer que les courbes indiquant l'usure des rails qu'il a montrées dans la précédente séance, et qui affectent toutes la forme parabolique prouvent

nettement ce qui vient d'être dit par M. Ledru. Ces courbes montrent que pour une durée moyenne de 20 ans, la moitié des rails devront encore être en service à la vingtième année.

M. Sevène fait observer que la durée d'un rail est un fait sans signification, si l'on ne place à côté le trafic correspondant. Quand il a énoncé le chiffre de 20 ans de durée, il a mis en regard le chiffre de 45,000 fr. de trafic par kilomètre, et il ne faut pas séparer l'un de l'autre. Il ne conteste nullement l'usure progressive des rails, qui est un fait notoire; mais rien, dans les explications qu'il a données ne contredit ce fait. Si l'on veut bien se rappeler les résultats qu'il a cités, à savoir que des voies supportant une circulation plus que moyenne, et établies dans des conditions moins solides que celles adoptées aujourd'hui, durent depuis 15 et 17 ans avec moins d'un tiers d'usure, et font encore un bon service, on ne trouvera certainement pas qu'il y ait témérité à prévoir une durée de 20 ans pour des rails établis plus solidement et supportant une circulation moindre.

Répondant à un membre qui demande des renseignements sur la qualité du ballast des voies citées, M. Sevène indique que, sur la voie du Centre, le ballast est de très-bonne qualité, qu'il est de bonne qualité sur la ligne de Nantes, et assez mauvais sur la ligne de Bordeaux.

M. Petiet fait remarquer que, dans la discussion qui vient d'avoir lieu, il n'a pas été tenu compte de l'observation faite par M. Flachat sur la fatigue qu'éprouvent les voyageurs lorsque la vitesse des trains devient trop grande; cette observation est exacte et les cahots se font surtout sentir au passage des stations, où il y a des aiguilles et des croisements; il est très-essentiel que les voies principales conservent leur tracé théorique, soit en ligne droite, soit en courbe à grand rayon. Il n'en est pas toujours ainsi et cela contribue pour beaucoup aux chocs que ressentent les voyageurs. L'usure rapide des rails et des autres pièces des croisements amène le même inconvénient, aussi serait-il désirable de voir l'acier remplacer le fer dans tous les croisements qui sont en pleine voie.

M. Alquié reconnaît que les croisements donnent lieu à des chocs; mais il croit difficile de parer d'une manière complète à cet inconvénient. Ainsi, un croisement neuf étudié en vue d'être parcouru sans choc par un bandage neuf donnera lieu à un choc avec un bandage usé, et réciproquement, si le croisement a une certaine usure, il y aura choc au passage d'un bandage neuf.

M. Flachat est d'avis qu'il faut que les bandages soient bien entretenus; il faut aussi que les croisements soient bien disposés; mais il importe avant tout que la voie soit très-résistante, car la vitesse moyenne n'est pas la vitesse réelle; les pentes et les rampes l'accroissent ou la ralentissent, et il en sera ainsi indépendamment de la puissance des machines tant qu'on voudra obtenir des vitesses maxima.

Il est bien difficile de déterminer toutes les causes de l'agitation qui se manifeste dans les trains à grande vitesse. Il est clair qu'elles sont multiples; mais l'état de la voie en est une, et, quelque soignée que soit la voie actuelle, il y a une limite que le matériel actuel ne permet pas de dépasser sans incommodité pour le voyageur.

M. Petiet fait remarquer que dans les sections où le chemin est en bon état, la voie n'est pour rien dans le mouvement de lacet; on doit attribuer ce mouvement aux bandages creux, au matériel trop large et trop long par rapport à la distance des points d'appui sur les voies, à de mauvaises suspensions, à la trop grande hauteur du centre de gravité; mais l'effet de ces différentes causes est augmenté par un mauvais état de la voie.

M. Flachat fait observer que la voie large adoptée au Great-Western par Brunel, donne plus de stabilité aux véhicules.

M. Forquenot dit que ce fait est exact; mais c'est que le matériel n'est guère plus large que la voie, et qu'il y a moins de porte-à-faux à droite et à gauche des points d'appui sur les voies ordinaires. On arrive à diminuer beaucoup le mouvement de lacet en serrant autant que possible les tampons les uns contre les autres, tout en leur laissant une certaine flexion. Quant à l'attelage, il doit être rigide.

M. le Président, avant de lever la séance, remercie MM. les ingénieurs qui ont bien voulu assister à la réunion, et prendre part à la discussion.

SÉANCE DU 1er JUILLET 1864.

M. Ivan Flachat donne lecture des observations suivantes au sujet de la discussion qui a eu lieu dans les deux précédentes séances des 3 et 17 juin, sur l'usure et le renouvellement des rails.

La lettre adressée à M. Eugène Flachat, et publiée dans le compte rendu de la séance du 3 juin, donne une méthode très-bonne pour se rendre compte de l'avantage à retirer de l'amélioration des rails; mais elle contient un aperçu sur l'emploi des rails en acier, qui tombe complétement devant les faits, et l'application même de la méthode.

Il est dit, en effet. page 119 :

« Pour les rails, la marge est un peu trop étroite. Jusqu'à ce que la durée des rails « en acier fondu sur les voies courantes ait été éprouvée, et jusqu'à ce que le prix « en soit descendu au taux de... 350 à 400 fr. la tonne... La seule chose à faire est de « lutter par tous les moyens contre la destruction par exfoliation et dessoudage, au « moyen d'une certaine augmentation très-notable du prix d'achat. »

Les faits sont, suivant moi, dit M. Ivan Flachat, tous favorables à l'emploi des rails en acier fondu. La Ce des chemins de fer du Nord, qui a fait quelque emploi, sur une certaine échelle, des rails en acier, a déclaré, par la bouche de M. Alquié, qu'elle s'en est fort bien trouvée, et qu'elle est toute disposée à continuer cette application dès que *le bon marché* le lui permettra. La Ce d'Orléans, celle de Lyon, celle des Charentes, et d'autres encore, font faire en acier les rails les plus fatigués et notamment ceux des changements et traversées de voies, et ceux des plaques tournantes. Ces applications ont déjà permis de juger que la durée des rails en acier était au moins triple de celle des rails en fer, et cela est assez d'accord avec les résultats obtenus sur les bandages dont l'épreuve s'est prolongée plus longtemps.

Les bandages en acier, en effet, durent environ le double des bandages en fer, dont le prix est les 2/5 du leur, à n'en juger que par les chiffres publiés par M. Nozo, dans

les mémoires de la société du dernier trimestre de 1862. Encore, en donnant les chiffres correspondant au parcours des bandages, M. Nozo fait observer que les meilleurs bandages en acier continuaient leur service, ce qui doit augmenter la moyenne citée plus haut; et probablement, en se reportant à ce que disait M. Brüll, dans ses observations sur le mémoire de M. Nozo, publiées au trimestre suivant, on arriverait à établir, au moins, que le parcours des bandages était en raison de leur prix coûtant à cette époque, c'est-à-dire dans le rapport de 5 à 2 en moyenne.

Or, comme les bandages en fer ne périssent guère que par l'usure, le principal avantage des bandages en acier est dans leur dureté. Mais, pour les rails qui périssent surtout par exfoliation ou dessoudage, comme le dit fort bien l'auteur de la lettre; l'acier fondu substitué au fer met à néant cette cause de destruction. Ce n'est donc pas sans raison que nous attribuons aux rails en acier fondu une durée triple de celle des rails en fer. Nous pensons même que lorsqu'une fabrication courante aura permis à l'industrie des rails en acier d'atteindre à la perfection obtenue dans celle des rails en fer, ce chiffre sera largement dépassé, parce que les rails en acier ne seront plus aussi sujets à la rupture que la plupart de ceux qu'on a fabriqués d'abord.

Quel que soit, du reste, le chiffre définitif auquel l'usage des rails en acier fondu conduira, notre raisonnement recevra toujours son application, et pour fixer les idées dès aujourd'hui, il faut admettre, comme hors de doute, qu'un rail en acier doit durer trois fois autant qu'un rail en fer, dont le prix est les 2/5 du sien.

Pour raisonner cette question à un point de vue pratique, il ne faut plus parler de *durée moyenne* des rails en fer; il faut considérer chaque ligne séparément, chaque fraction de ligne même; et peut-être aussi, dans ces fractions, la voie montante et la voie descendante, quand le trafic se répartit inégalement, quand les freins y exercent une action différente, etc., etc. Là, en effet, et là seulement où il y aura avantage à substituer des rails en acier aux rails en fer, on fera cette substitution. Peu nous importe, par exemple, que, sur le réseau du Nord, la moyenne de la durée des rails soit de 15 ans, si nous savons que sur la ligne de Dunkerque ils durent 27 à 30 ans, et aux abords de Saint-Denis, seulement quelques mois. C'est là qu'il faut apporter le remède. En considérant chaque point avec la fatigue qu'y éprouvent les rails, on arrivera à connaître dans quelle mesure et sur quels points l'application des rails en acier fondu doit être faite.

En prenant pour exemple, comme l'auteur de la lettre, une voie en rails Vignole de 37^{k},500, le prix moyen des rails en fer à 200 fr. la tonne, celui des rails en acier à 500 fr., et celui des accessoires aux prix indiqués par lui, nous établirons les prix kilométriques suivants :

75 tonnes de rails en fer, à 200 fr.	15000	en acier fondu, à 500 fr.	37500
Chevillettes, éclisses et boulons. .	1690	—	1690
Pose.	5000	—	5000
	21690		44190
Différence..	22500		
	44190		

Nous compterons les intérêts, non pas à 5 p. 100, mais à 5,75 p. 100, taux officiel des emprunts des Compagnies des chemins de fer en France, et très-voisin du taux moyen effectif.

La différence de 22500 francs, à porter au compte capital, grèvera donc le service des intérêts d'une somme de

$$22500 \times 0,0575 = 1293^{f},75.$$

Admettons que les accessoires, chevillettes, boulons et éclisses, soient plutôt mis hors de service par l'impossibilité de les faire servir une seconde fois, dès qu'on les a déposés pour remplacer les rails, que par l'usage lui-même ; il faut compter qu'à chaque renouvellement des rails en fer, ils sont remplacés par moitié; qu'à chaque renouvellement des rails en acier, ils sont intégralement remplacés.

Admettons encore que les rails en fer perdent 100 francs, et que les rails en acier perdent 300 fr., ce qui est exorbitant. Mais il sera facile à chacun de faire un calcul semblable avec les données spéciales qu'il aura à considérer, et rien ne vaudra mieux que de s'adresser au fabricant pour connaître les prix vrais, quand on arrivera à l'application. Il est probable que les rails en acier fondu ne perdront pas plus de 200 fr., peut-être de 250 fr. dans le commencement; ce que nous en dirons, sur la base de 300 fr., sera donc vrai, *a fortiori*.

Les dépenses de renouvellement des rails seront ainsi :

Pour la voie en fer.		Pour la voie en acier.	
Rails, 75 tonnes, à 100 fr.	7500	Rails, 75 tonnes, à 300 fr.	22500
Accessoires $\frac{1690}{2}$.	845	Accessoires.	1690
Pose.	5000	Pose.	5000
	13345		29190

Considérons d'abord une portion de voie très-fatiguée, où les rails en fer ne durent pas plus de trois ans, comme on en trouve aux abords de certaines gares, dans certaines rampes, dans certaines conditions de fréquentation. Les rails en acier fondu dureront neuf ans dans les mêmes conditions.

13345 fr. à dépenser dans 3 ans, représentent, à 5,75 0/0, une annuité de	4970
13345 fr. — 6 ans, — — —	2693
13345 fr. — 9 ans, — — —	1940
	9603
D'autre part :	
29190 fr. à dépenser dans 9 ans, représentent à 5,75 0/0, une annuité de	4244
La différence est de	5359
Dont il faut retrancher les intérêts à 5,75 0/0 de la différence du prix d'établissement comme ci-dessus.	1294
L'avantage ressort ainsi par kilomètre de simple voie à.	4065

La marge est considérable, comme on le voit, et suffirait à payer une plus-value énorme, puisqu'elle couvrirait une dépréciation de plus de 600 fr. par tonne.

Considérons maintenant une portion de voie telle que la ligne de Paris à Orléans, où les rails ne paraissent pas devoir durer plus de 10 ans. Les rails en acier dureront 30 ans. Nous arrivons alors aux chiffres suivants :

13345 fr. à dépenser dans 10 ans, représentent, à 5,75 0/0, une annuité de	1792
13345 fr. — 20 ans, — — —	1140
13345 fr. — 30 ans, — — —	943
	3875

D'autre part :

29190 fr. à dépenser, dans 30 ans, représentent, à 5,75 0/0, une annuité de	2064
La différence est de	1811
Dont il faut déduire les intérêts ci-dessus.	1294
L'avantage ressort encore à.	517

et suffirait à payer une plus-value correspondant à une dépréciation d'environ 350 fr. par tonne.

Il ressort bien nettement de ces chiffres que, tant que le prix des rails en fer sera voisin de 200 fr., on aura intérêt à les remplacer par des rails en acier fondu, faisant un usage triple, et à payer ceux-ci 600 fr. et davantage, pourvu que les vieux rails en valent 250. Avec des rails en acier fondu à 500 fr. la tonne, on aurait intérêt à remplacer les rails en fer sur toutes les parties où ils ne durent pas plus de onze à douze ans.

Le prix ou l'avantage augmenterait à mesure que diminuerait la durée des rails en fer, d'une section à une autre. C'est ainsi que sur des sections où les rails en fer ne durent que trois ans, on pourrait payer des rails en acier faisant un usage triple, jusqu'à 800 et 900 fr. la tonne.

Le prix des rails en acier fondu étant dès aujourd'hui bien inférieur, il est à croire que leur application ne saurait tarder à se généraliser.

M. Ivan Flachat ajoute qu'après l'envoi de cette note, il a eu occasion de conférer de son contenu avec des fabricants d'acier. Ils ont été unanimes à en trouver les conclusions insuffisantes. Dans leur pensée, les rails en acier fondu doivent durer, non pas seulement trois fois, mais bien dix, quinze, et vingt fois plus que les rails en fer, posés sur les voies courantes. D'après cela, il a appliqué la même méthode de calcul aux sections où les rails en fer durent 25 ans, et a trouvé qu'il y avait avantage à leur substituer des rails en acier fondu, même en ne supposant à ceux-ci qu'une durée quadruple. Le calcul donne, en effet :

13345 fr.	à dépenser dans	25 ans,	représentent,	à 5,75 0/0,	une annité de	1018
13345 fr.	—	50 ans,	—	—	—	817
13345 fr.	—	75 ans,	—	—	—	778
13345 fr.	—	100 ans,	—	—	—	770
						3383

D'autre part:

29190 fr. à dépenser dans 100 ans représentent, à 5,75 0/0, une annuité de	1684
La différence est de.	1699
Dont il faut déduire les intérêts..	1294
Et l'avantage est encore de.	405

Ces 405 francs, divisés par l'annuité à 5,75 0/0 pour 100 ans, soit par 0,05771540, correspondent à une somme de 7190 francs environ qui, répartis sur 75 tonnes, équivaudraient à une dépréciation de 90 fr., et correspondraient à un prix actuel de 590 fr. environ par tonne de rails en acier.

Dans ces conditions, et même en faisant une part très-large aux causes diverses du remaniement des voies, on doit s'attendre au remplacement total des rails en fer par des rails en acier fondu, à mesure que les premiers seront mis hors de service.

M. le Président remarque que 100 ans est une durée bien longue, et qu'en pareille matière l'opportunité de mettre dehors des sommes importantes ne peut plus s'estimer à l'aide des calculs ordinaires d'amortissement.

M. Ivan Flachat propose de commencer l'expérience de l'emploi des rails en acier sur les sections les plus fatiguées où la durée des rails n'approche pas des chiffres qu'il vient de citer. C'est d'ailleurs ce qui a été déjà fait, et on s'en est bien trouvé. Des rails en acier, posés en 1861 sur la ligne d'Auteuil, n'ont subi jusqu'à ce jour aucun renouvellement, alors que des rails en fer posés dans les mêmes points auraient déjà été remplacés plusieurs fois. Quant à l'observation relative aux sacrifices à s'imposer pour la substitution de l'acier au fer, il faut remarquer que les Compagnies de chemins de fer portent aujourd'hui dans leurs comptes annuels des sommes importantes, et qui pour certains chemins s'élèvent à deux ou trois millions pour les dépenses de renouvellement. Si l'on peut diminuer ce chiffre, ce sera un avantage net, sans qu'on ait à se préoccuper si une partie de cette somme est attribuée aux porteurs d'obligations, au lieu d'être appliquée directement à l'entretien.

M. Goschler fait observer que les calculs de M. Ivan Flachat ne tiennent pas compte des dépenses afférentes au renouvellement des traverses.

M. Ivan Flachat n'a pas fait entrer cet élément en ligne de compte pour ne pas compliquer ses calculs, et aussi parce que les traverses ont des durées très-variables, en raison de la variété des essences employées, des procédés de préparation, de la nature du ballast et des conditions de service. Comme d'ailleurs la substitution de l'acier au fer ne change rien à cet élément de dépense; M. Ivan Flachat ne pense pas que le renouvellement des traverses ôte rien à la valeur de son raisonnement.

M. Goschler appelle l'attention sur les modifications successives qu'ont subies déjà la force et le profil des rails; il faut prévoir encore pour l'avenir de semblables changements, et ils pourraient amener le retrait des rails avant qu'on en ait tiré tout le service qu'ils pouvaient rendre.

M. Ivan Flachat répond que les rails retirés pour ces motifs seront utilisés sur les voies moins fatiguées, comme on l'a fait pour les rails en fer, et qu'au surplus, la fabrication des rails elle-même est sujette à des modifications et à des perfectionnements. Si les fabricants pouvaient avoir dès maintenant des commandes importantes, la fabrication pourrait se simplifier, et les conditions s'améliorer encore.

M. Ivan Flachat passe rapidement en revue les différentes phases de la fabrication, et en signale les différents points susceptibles de progrès. Au sortir de la cornue Bessemer, le métal est coulé en lingots de la forme et du poids nécessaires pour former un rail par l'étirage au laminoir. Il n'y a aucune soudure, aucune reprise de l'acier, et on a ainsi une garantie absolue du côté de l'homogénéité. Les rails sont ensuite portés au pilon après un réchauffage, et au laminoir après un nouveau refroidissement et un nouveau retour aux fours. Il y a là plusieurs portes ouvertes aux économies. Ainsi on arrivera probablement un jour, quand on sera plus sûr des matières, et il existe même déjà une installation pour réaliser ce résultat, à verser directement dans l'appareil Bessemer la fonte coulant du haut fourneau. On évitera ainsi une seconde fusion. Peut-être pourra-t-on remplacer par des fontes de pays, des fontes étrangères de prix élevé qu'on emploie aujourd'hui à la fin de l'opération. On arrivera sans doute à simplifier le travail au pilon qui fait disparaître les bulles du lingot. Celles-ci, en effet, ne paraissent pas avoir réellement les inconvénients qu'on avait redoutés d'abord, et n'altèrent point la résistance du rail, comme les criques qui se produisent sur les rails en fer.

M. le Président remarque que les calculs qui précèdent reposent sur l'hypothèse d'une durée trois ou quatre fois plus grande pour l'acier que pour le fer. Or, ce chiffre n'est jusqu'à présent qu'une impression des fabricants.

M. Ivan Flachat dit qu'il y a là plus qu'une impression, et que quelques faits permettent déjà de se faire une opinion à cet égard. Ainsi, on a posé en octobre 1859, dans la gare Saint-Lazare, divers appareils en acier qui durent encore, après quatre ans et demi de service, en des points où des appareils en fer ne résistaient guère plus de six semaines ; ces appareils ont donc duré trente fois plus que les premiers.

M. le Président considère ce fait comme un cas particulier. Les croisements et les changements de voie sont, en effet, dans des conditions toutes spéciales, et on ne peut encore citer d'expériences faites sur des rails courants.

M. Ivan Flachat pense que l'on peut conclure de l'un à l'autre cas. Si l'acier présente des avantages aussi nets sur le fer dans des pièces qui sont généralement faites en fer de choix bien soudé et corroyé, et où ne peut apparaître le principal défaut des rails courants, la facilité à se dessouder ou à s'exfolier, il l'emportera à plus forte raison dans la voie courante où ce défaut, que l'acier fondu ne peut présenter, prend une si grande importance.

M. Goschler indique la forme aiguë que prennent bientôt les rails des croisements de voie en acier. Les bandages se coupent sur ces angles vifs, et il n'est pas rare de recueillir sur ces appareils des poignées de copeaux de fer qui ont été détachés des bandages. Cet inconvénient ne se présente pas avec le fer.

M. Ivan Flachat n'avait aucune connaissance de ce fait qu'il ne peut s'expliquer. Il ne se produira certainement pas avec les bandages en acier.

Un Membre, au sujet de l'avenir des rails en acier Bessemer, dit qu'il est évident que la question serait de beaucoup simplifiée par une importante baisse du prix de ces rails. Il a des raisons de penser que l'époque où un tel abaissement de prix pourra se produire n'est pas aussi éloignée qu'on le croit.

Il existe en Suède, dans la provinces de Norrbotten, un peu au nord du golfe de Bothnie, un énorme gisement d'un très-riche minerai de fer, excellent, très-convenable à la fabrication des rails d'acier, et facile à exploiter par quantités considérables ; par quantités assez grandes pour alimenter, s'il y avait lieu, la fabrication des rails de tout notre continent, pendant des centaines d'années. Ce gisement, trop peu connu, est *la montagne de fer de Gellivare.*

Il résulte d'estimations et d'autres travaux que ce membre a eus sous les yeux l'année dernière, qu'une compagnie qui achèterait les mines de Gellivare, et qui tirerait parti convenablement de leurs produits, pourrait se livrer à elle-même, en France, des rails en métal Bessemer, bien conditionnés, à environ 400 fr. la tonne, et même à moins.

Il espère que l'on pourra, d'ici à deux ou trois ans, vérifier par les faits jusqu'à quel point cette allégation est exacte.

M. le Président rappelle la discussion qui a eu lieu précédemment sur les propriétés comparatives du fer et de l'acier à propos des bandages. L'acier Krupp donne, en définitive, dans cet emploi, d'excellents résultats. Il faut voir aujourd'hui, en recueillant aussi le plus de faits possible, ce que l'acier peut devenir comme rails. L'expérience qui se poursuit sur la rampe d'Étampes est l'une de celles qui se prêtera le plus facilement à une conclusion.

LETTRE adressée à M. Petiet, président de la Société des ingénieurs civils, le 30 juin 1864, par M. Desbrière.

Monsieur le Président,

Vous avez eu la bonté de me demander, à la séance du 17 juin dernier, si j'avais des renseignements à apporter dans le débat qui a rempli cette séance et la précédente. Je n'avais qu'une observation à faire, et je n'ai pas voulu interrompre les communications intéressantes que les ingénieurs chargés de l'entretien de nos grandes lignes allaient apporter comme éléments à la discussion. Le tribut de ces renseignements étant aujourd'hui complet, je prends la liberté, Monsieur le Président, de soumettre à la Société l'observation dont il s'agit.

Elle porte tout entière sur l'emploi du fer provenant de minerais phosphoreux dans les couvertes des rails Vignole, emploi dont M. Alquié a dit un mot en passant, dans la séance du 3 juin, et auquel il ne me semble pas avoir accordé toute l'importance qu'il mérite.

D'après M. Alquié, « la composition chimique du fer paraîtrait avoir une grande « influence sur la durée des rails, et les analyses qu'il a faites l'ont porté à penser « que le phosphore pourrait, dans une certaine mesure, donner à la partie qui sert « au roulement les propriétés qu'on doit rechercher, facilité de travail à chaud, du- « reté à froid. Toutefois, il ne soumet ces résultats que sous réserve, les recherches « dans ce sens n'ayant été ni assez multipliées, ni peut-être assez précises. »

C'est à la suite d'une pratique étendue et prolongée, sans idées préconçues évidemment, et en ne se basant que sur les faits qui étaient à leur connaissance personnelle, que les ingénieurs du chemin de fer du Nord sont arrivés à reconnaître ces faits, qu'ils ne formulent cependant qu'avec une prudente réserve.

S'il n'y avait là que les résultats d'une observation isolée, on pourrait, malgré toute la confiance qu'inspire si justement l'expérience des ingénieurs du chemin du Nord, n'accepter aussi ces résultats que sous toutes réserves.

Mais il n'en est pas ainsi ; les résultats annoncés par M. Alquié ne sont que la confirmation de faits établis depuis plusieurs années par la pratique des usines et des chemins de fer d'Allemagne.

Je ne puis, à cet égard, me dispenser de rappeler que j'ai eu occasion de faire connaître ces faits dans un mémoire qui a paru dans les comptes rendus de notre Société (année 1858, 4e cahier), et qui a été reproduit également par les *Annales des mines* (année 1858, 3e et 6e livraisons), sous le titre de : *Note sur la fabrication des rails dans les usines de la Compagnie du Phénix.*

Ce mémoire fait connaître avec détail une méthode de fabrication dans laquelle les couvertes pour rails sont obtenues au moyen de fontes grises provenant de minerais

phosphoreux, et établit les avantages qui résultent de l'emploi de ces couvertures au point de vue de la bonne soudure et de la dureté superficielle. Il relate également les résultats d'expérience obtenus dans quelques forges françaises par l'application de cette méthode.

M. Alquié s'est borné à annoncer que les rails les plus durables lui avaient paru présenter à l'analyse des proportions notables de phosphore, sans énoncer avec détail les avantages qu'on pouvait attendre de la présence de ce métalloïde dans les fers à rails; je crois devoir donner à cet égard quelques détails nouveaux, parce que l'emploi des fers phosphoreux constitue, à mon sens, un des progrès les plus sérieux qu'ait accomplis dans ces dernières années la métallurgie spéciale des rails, et, par là même, la question de la conservation de la voie des chemins de fer.

Les minerais phosphoreux dont j'ai cru et crois devoir encore recommander l'usage sont à la portée de tout le monde en France. Ils existent en très-grande abondance dans le Boulonnais, où ils sont connus sous le nom de *minerais de prairie*, et dans beaucoup d'autres régions de la France, telles que la Meuse, les Ardennes. Comme il ne faut qu'une proportion minime de phosphore pour donner au fer les propriétés qui le rendent apte à former des couvertes de rails, il n'est pas d'usine qui ne puisse introduire dans ses lits de fusion une quantité suffisante de ces minerais, quand bien même elle n'en aurait pas dans son voisinage. Ainsi disparaît l'objection élevée par M. Flachat, et d'après laquelle cette méthode de fabrication ne serait le fait que de quelques usines placées dans des conditions spéciales d'approvisionnements. Il est, du reste, reconnu que les mélanges de minerais sont les meilleurs moyens d'améliorer ou de corriger la nature des fers, et il n'est pas d'usine qui aujourd'hui néglige d'en associer de provenances variées, et quelquefois très-éloignées, dans ses lits de fusion.

La présence de 1/2 à 1 pour 100 de phosphore dans le fer lui communique des propriétés bien connues des métallurgistes, et qui toutes concourent à le rendre éminemment propre à entrer dans la composition de la partie supérieure d'un rail.

En premier lieu, le fer phosphoreux est moins dur au feu; autrement dit, sa température de soudure est moins élevée que s'il était plus complétement épuré. Il s'ensuit que, si dans le corroyage d'un fer brut contenant du phosphore, on a soin de ne pas atteindre la température blanche à laquelle ce métalloïde serait expulsé en grande partie, on aura un fer corroyé dont la température de soudure ne différera pas sensiblement de celle d'un fer brut ordinaire (c'est-à-dire ne contenant pas de phosphore en proportion sensible), et qui par conséquent sera très-disposé à se souder avec ce dernier, si d'ailleurs toutes les autres précautions de rigueur pour la bonne soudure ont été prises dans la composition du paquet et dans les méthodes de cinglage et d'étirage.

Une seconde propriété dont jouit le phosphore, et qui a été mise en évidence par un travail remarquable de M. Janoyer (*Annales des Mines*, tome VI, 5e série), consiste à annuler la qualité *rouveraine* que le soufre des minerais ou des combustibles communique aux fers. Cette qualité *rouveraine*, ou propriété de casser à chaud, est la cause la plus ordinaires des *criques* qui se manifestent souvent à la partie supérieure des champignons des rails; ces criques ne sont autre chose que les solutions de continuité qui se produisent lorsque le fer, pendant le passage au laminoir, atteint sur certains points la température (autrement dit la *couleur*) à lequelle la rupture du fer tend à se produire. Ce défaut très-fréquent, et qui est la cause de la plupart des

rebuts que subissent les rails à la réception aux usines, est donc heureusement évité par l'introduction du minerai phosphoreux dans les lits de fusion destinés à produire la fonte d'où proviennent les couvertes pour rails.

Enfin, le fer phosphoreux est à la fois dur et cassant à froid, c'est-à-dire résistant bien à froid à la compression, mal à l'extension, propriétés, comme on le sait, entièrement connexes, et qui se trouvent réunies dans beaucoup de corps (la fonte, et tous les produits siliceux, par exemple). Il s'ensuit que le fer phosphoreux est parfaitement approprié au rôle que doit jouer le champignon d'un rail Vignole, lequel est appelé à travailler par compression, lorsque le rail fléchit sous la charge, et à résister à l'écrasement que tend à produire la pression des bandages.

Ces trois propriétés, très-saillantes et très-connues du fer phosphoreux, le rendent donc précieux pour la composition des paquets de rails Vignole, pourvu qu'on ait le soin de former le patin avec du fer bien exempt de phosphore, et conséquemment résistant bien à l'extension; le laminage du patin sans crique est, du reste, très-facile, moyennant l'emploi de deux petites bandelettes de corroyé que l'on place au bas du paquet, et de part et d'autre de sa base.

A ces avantages se joint un prix assez bas, puisque les minerais phosphoreux, d'une extraction généralement facile, ne sont pas d'ailleurs recherchés pour les autres usages du fer, lesquels comportent toujours une plus ou moins grande résistance à l'extension.

C'est par l'emploi du fer phosphoreux que les usines françaises pourront arriver, ou sont arrivées déjà à produire des rails Vignole à la fois bien soudés, à surface de roulement parfaitement lisse et nette, résistant bien à la pression des roues les plus chargées sans s'écraser, sans se dessouder et sans se rompre, et dont le prix ne dépasse pas aujourd'hui 200 fr. la tonne.

Il va sans dire que le rail à double champignon ne peut trouver dans le fer phosphoreux les avantages qu'y trouve le rail Vignole, puisque ses champignons doivent résister alternativement à l'extension et à la compression. Aussi, une importante usine française, qui s'est adonnée à la fabrication du rail Vignole, éprouve en ce moment les plus grandes difficultés à satisfaire une Compagnie à laquelle elle fournit des rails à double champignon. Les deux champignons étant formés de fer phosphoreux, le rail casse sous le choc d'un mouton tombant d'une hauteur bien plus faible que ne le prescrit le cahier des charges.

Il arrive ainsi une chose remarquable, c'est que le rail Vignole contre lequel un des arguments invoqués à l'origine par ses adversaires, était une prétendue difficulté de fabrication, résultant de sa forme, se trouve, au contraire, devoir à cette forme un nouvel avantage, celui d'une fabrication plus économique et plus parfaite.

Il n'est donc pas étonnant que les ingénieurs du chemin du Nord, pour lesquels le fer phosphoreux a été employé sur une très-grande échelle par quelques-uns de leurs fournisseurs, aient trouvé supériorité de durée aux rails Vignole qui présentaient une forte proportion de phosphore à l'analyse, et qu'ils aient reconnu de plus ce fait très-remarquable, que la durée moyenne probable de leurs rails Vignole atteindrait 27 ans, tandis que celle des rails à double champignon ne dépasserait pas 20 ans, malgré l'avantage tant vanté et si peu sérieux, d'ailleurs, du retournement.

Même en n'admettant que sous bénéfice d'inventaire des chiffres aussi forts, la relation entre ces chiffres n'en subsiste pas moins; elle assure aux rails Vignole environ un tiers de durée en plus sur les rails à double champignon.

Je crois devoir ajouter aussi quelques mots sur le *triage* ou classement des fers destinés à faire le paquet. C'est assurément un point de départ excellent que de vouloir rapprocher les fers de même nature dans les paquets, soit pour rails, soit pour couvertes, pour arriver à obtenir des soudures complètes; mais c'est, je crois, se faire illusion que de compter sur la présence du nerf ou du grain dans les cassures, pour vérifier l'homogénéité des fers. La structure à grain ou à nerf ne dépend pas directement et uniquement de la composition chimique : on sait fort bien aujourd'hui que des artifices très-simples dans le traitement métallurgique et mécanique, ou même des tours de main dans l'opération de la rupture, permettent d'obtenir, presque à volonté, ces deux genres de structures dans la cassure d'un même fer. Je ne conteste pas cependant que l'aspect de la cassure ne suffise pas à un praticien exercé pour juger de l'homogénéité plus ou moins grande de deux fers soumis à son appréciation; mais c'est sur d'autres indices que le jugement se base, tels que la couleur, l'éclat, la finesse plus ou moins grande du grain, etc. Quant à la présence du grain ou du nerf, c'est un renseignement, je le répète, très-sujet à caution.

Cette réserve faite, je ne puis qu'approuver dans tous ses détails la remarquable communication que nous a faite M. Alquié. C'est certainement l'ensemble de renseignements pratiques le plus complet et le plus instructif qu'on ait jamais réuni sur la question de la fabrication des rails. Je crois ne rien exagérer en disant que les forges et les Compagnies de chemin de fer françaises sont appelées à en tirer le plus grand fruit.

Agréez, etc.

FIN.

Paris. — Imprimerie de P.-A. BOURDIER et Cie, rue des Poitevins, 6,
Imprimeurs de la Société des


3 0112 077581301